

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Хімічних технологій та інженерії
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Форма навчання Заочна

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Бельченко Катерина Миколаївна

на тему Застосування установок сухого гасіння коксу з
метою підвищення його якості та енергозбереження

науковий керівник к.х.н., доцент



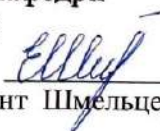
Кормер М.В.

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 14.01. 2025 р. № 8

Завідувач кафедри



к.т.н., доцент Шмельцер К.О.

Кривий Ріг – 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Рівень вищої освіти другій (магістерський)
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
(шифр і назва)

Завідувач кафедри

Хімічних технологій та інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

доцент, к.т.н.

Шмельцер К.О.

(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

2025 року

« 15 » 01

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Бельченко Катерині Миколаївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра «Застосування установок сухого гасіння коксу з метою підвищення його якості та енергозбереження»

керівник кваліфікаційної магістерської роботи

Кормер Марина Віталіївна, к.х.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу № 796-ст від «21» листопада 2024 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 08.01.2025

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра _____

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

4.1 Аналітична частина: Аналіз існуючих технологій гасіння коксу. Принцип роботи процесу сухого гасіння коксу. Обґрунтування доцільності використання сухого гасіння коксу

4.2 Основна частина: Технологічна схема установки сухого гасіння коксу. Аналіз основного технологічного устаткування. Експериментальні дослідження щодо можливості підвищення якості коксу на стадії сухого гасіння. Дослідження якості коксу сухого та мокрого гасіння. Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання для гасіння коксу.

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

Завданням графічний матеріал не передбачений

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Кормер М.В., доцент	<i>Кормер</i>	<i>Бельч.</i>
2 Основна частина	Кормер М.В., доцент	<i>Кормер</i>	<i>Бельч.</i>

7. Дата видачі завдання «15» листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	29.11.2024	
2.	Основна частина	20.12.2024	
3.	Оформлення пояснювальної записки	27.12.2024	
4.	Подання роботи до кафедри	15.01.2025	
5.	Захист роботи в ЕК	21.01.2025	

Здобувач

Бельч.
(підпис)

Бельченко К.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

Кормер
(підпис)

Кормер М.В.
(прізвище та ініціали)

*Примітка. Бланк друкується з обох сторін на одному аркуші.

АНОТАЦІЯ

Бельченко К.М. Застосування установок сухого гасіння коксу з метою підвищення його якості та енергозбереження. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Державний університет економіки і технологій. Кривий Ріг, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню якості металургійного коксу та енергозбереження при використанні сухого гасіння

В випускній кваліфікаційній роботі магістра досліджено основні технологічні аспекти експлуатації установок гасіння коксу, їх переваги та недоліки.

На підставі аналізу технологічних та екологічних аспектів роботи установок мокрого гасіння, встановлено, що метод сухого гасіння коксу є альтернативою мокрому гасінню, з метою утилізації тепла гарячого коксу та ліквідації викидів шкідливих речовин в атмосферу та значно покращити якість коксу за показниками M_{25} та M_{10} та знизити його вологість.

Встановлено, що модернізація установки УСГК дозволить поліпшити якість коксу, який відрізняється поліпшеними показниками фізико-механічних властивостей (підвищена механічна міцність, зменшена стиранність, можливість більш чіткого відділення коксу від пилу), що є важливим не тільки для коксохімічного виробництва, а перш за все, для доменного виробництва.

В кваліфікаційній роботі запропоновано модернізований пристрій для розподілу потоків коксу і газу в камері сухого гасіння коксу. Зазначена реконструкція дозволить забезпечити рівномірний переріз камери рух коксу, близький до режиму ідеального витіснення, що сприятливо позначиться на ефективності теплообміну між коксом і газом.

Ключові слова: установка сухого гасіння коксу, утилізація тепла, форкамера, міцність, якість коксу, охолоджувальний агент, охолодження.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Аналіз існуючих технологій гасіння коксу	8
1.1.1 Мокре гасіння коксу	10
1.1.2 Метод імпульсного гасіння коксу	14
1.1.3 Технологічна схема комбінованого охолодження коксу водяними парами й циклічною подачею води	15
1.1.4 Метод безперервного гасіння коксу підземного типу	17
1.1.5 Комбіноване мокре і сухе гасіння	17
1.1.6 Технологія мокрого гасіння коксу з комбінованою подачею води	19
1.2 Принцип роботи процесу сухого гасіння коксу	20
1.3 Обґрунтування доцільності використання сухого гасіння коксу	24
1.4 Висновки до аналітичної частини	27
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	28
2.1 Застосування установок сухого гасіння коксу з метою підвищення його якості та енергозбереження	28
2.1.1 Технологічна схема установки сухого гасіння коксу	28
2.1.2 Аналіз основного технологічного устаткування	31
2.2 Розробка пристрою для розподілу потоків коксу і газу в камері сухого гасіння коксу	36
2.3 Експериментальні дослідження щодо можливості підвищення якості коксу на стадії сухого гасіння	43
2.4 Дослідження якості коксу сухого та мокрого гасіння	49
2.5 Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання для гасіння коксу	56
2.6 Економічне обґрунтування розроблених технологічних рішень	60
2.7 Екологічні аспекти роботи коксового цеху КХВ та заходи по	

захисту навколишнього середовища	61
2.7.1 Основні шкідливості та небезпечні чинники в умовах коксового цеху	61
2.7.2 Заходи щодо зниження шкідливостей та небезпечностей у коксовому цеху	63
2.7.3 Вплив технології сухого гасіння коксу на навколишнє середовище	67
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТКИ	73

ВСТУП

Виробництво коксу належить до високотемпературних процесів і споживає значну кількість теплової енергії, витрата якої становить у середньому 3,0-3,5 ГДж/т коксу.

На частку коксохімічного виробництва припадає 35-40 % сумарного споживання пари металургійним комбінатом. Водночас коксові батареї - основне джерело вторинних енергетичних ресурсів, вихід яких становить близько 60 % від первинного енергоспоживання.

Найбільші втрати тепла на цьому переділі відбуваються під час гасіння коксу. Нині на коксохімічних підприємствах застосовують два способи гасіння коксу: мокре і сухе. За мокрим способом розпечений кокс зрошується водою, для цього використовують стічні води коксохімічного виробництва. Використання способу мокрого гасіння коксу призводить до значних втрат тепла, забруднення повітряного і водного басейнів, при цьому вміст деяких шкідливих речовин у кілька разів перевищує допустиму норму. При сухому гасінні кокс охолоджується в спеціальних установках циркулюючими газами, найчастіше інертними.

В Україні, за статистикою, лише 30 % коксу на коксохімічному виробництві гасять сухим способом, у результаті цього фізична теплова енергія гарячого коксу використовується не більше ніж на 30 %. Застосування сухого гасіння призводить до зниження втрат теплових ВЕР гарячого коксу, тому що теплова енергія, отримана циркулюючими газами, використовується для вироблення пари в котлах-утилізаторах. Крім того, витрата коксу в доменних печах, що залежить від його якості, багато в чому визначає структуру паливно-енергетичного балансу всього металургійного комбінату.

Значимість розв'язання проблем збільшення міцності коксу під час його сухого гасіння і підвищення параметрів вироблюваної у котлах-утилізаторах КХП пари та недостатня розробленість багатьох її аспектів [1] визначили актуальність теми магістерського дослідження.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз існуючих технологій гасіння коксу

Технологічний процес виробництва коксу закінчується видачею його з печей за температури 950-1100 °С. Щоб запобігти горінню розпеченого коксу після вивантаження з печі, а також зробити кокс придатним для транспортування і зберігання, необхідно знизити його температуру до 200-250 °С, за якої виключається самозаймання і тління, тобто необхідно кокс загасити. Нині на КХП застосовують два способи гасіння коксу: мокрий і сухий. При мокрому способі гасіння коксу фізична теплова енергія коксу втрачається безповоротно. За статистикою 60 % коксу на КХП гаситься мокрим способом, у результаті цього фізична теплова енергія гарячого коксу використовується не більше ніж на 30 %. Під час мокрого гасіння коксу відбувається значний викид у навколишнє середовище таких шкідливих речовин, як аміак, феноли, сірчані та сірчисті сполуки. Крім цього, показники міцності коксу сухого гасіння вищі, ніж коксу мокрого гасіння: CSR вищий на 2-4 од. [2]; M_{25} вищий на 1,9 од. [2, 3], а M_{10} нижчий на 0,8 од.

При сухому гасінні коксу теплова енергія гарячого коксу утилізується і використовується на вироблення пари для потреб підприємства. Існують різні установки сухого гасіння коксу [4]: багатокамерні, контейнерні, камерні установки бункерного типу з надземним і підземним розташуванням. Найбільшого поширення через свою ефективність, тому що вони компактніші, порівняно з багатокамерними установками, і, крім цього, вони є установками безперервної дії, на відміну від інших типів установок, які є установками періодичної дії, набули камерні установки бункерного типу з надземним розташуванням системи «Гіпрококсу». Ці установки забезпечені форкамерами, що дає змогу забезпечити рівномірність прогрівання коксу за об'ємом: у форкамері недогрітий кокс голівок і верху пирога проходить додаткове прожарювання, і якість коксу вирівнюється.

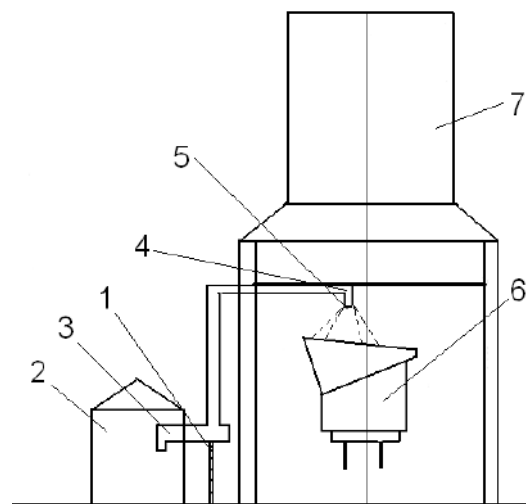
1.1.1 Мокре гасіння коксу

Виданий з печей кокс охолоджується водою (мокре гасіння), або циркулюючими газами (сухе гасіння коксу).

При мокрому гасінні коксу, його охолоджують шляхом зрошення певною кількістю води в гасильній башті. Поряд з простотою здійснення способу мокрого гасіння коксу притаманні багато недоліків. Головні з них - залишкова вологість коксу і її коливання. Обидва чинники об'єктивно обумовлені сукупністю умов гасіння [1]. Час подачі води на кокс встановлюють по відсутності вогнищ розпеченого коксу (спека) на рампі. Досить надійне охолодження усіх кусків необхідно для того, щоб не палити гумові стрічки транспортера, якими кокс передається на коксортування. При збільшенні розміру кусків коксу зростає кількість акумулювання ними теплоти, а отже, і час, необхідний для їх гасіння. Дрібні куски охолоджуються швидше та вбирають значну кількість води. Так, на підставі проведених досліджень, автори в джерелі [1] стверджують, що класи крупності коксу більше 80, 60-80, 40-60, 25-20 мм мають вологість: 0,6; 0,9; 3,9; 8,4 %. У коксовому горішку і дрібняку вміст вологи складає 14,4 і 19,4 %. Проба для визначення вологості коксу включає куски усіх класів крупності, тому збільшення кількості більш вологих дрібних класів в загальній масі обумовлює підвищення середньої вологості коксу при постійному регламенті гасіння [1]. Гранулометричний склад коксу, що видається з окремих печей, а також в середньому за зміну та добу не однаковий. Тому навіть при строгому дотриманні часу подачі води на охолодження і всіх інших факторів будуть спостерігатися коливання вологості. Одним з перспективних напрямків інтенсифікації роботи доменних печей є забезпечення їх високоякісним коксом. Кращими за механічними властивостями і реакційної здатності є куски коксу крупністю 25-40 і 40-60 мм. Але кокс названих класів вбирає велику кількість води і найменш стабільний за вологістю, що знижує ефективність його використання.

Таким чином, існуюча технологія мокрого гасіння коксу увійшла в суперечність з вимогами підвищення однорідності гранулометричного складу за рахунок збільшення в насипній масі частки кусків розмірами 25-60 мм при одночасному зниженні і стабілізації рівня вологості [1].

Установка мокрого гасіння обладнана системою трубопроводів, форсунок-розпилювачів, через які вода насосом подається на розпечений кокс, що знаходиться у вагоні (рис. 1.1) [2]. Водяний пар, що отримується під час гасіння розпеченого коксу, усувається через витяжну трубу, яка обладнана спеціальними відбійниками для вловлювання невеликих кусків коксу, зтягнутих паром. Гаситься кокс гасильною водою, яка була очищена на біохімічній установці. Фенольні води на гасіння коксу подаються у зрошувальну систему насосами із збірника освітленої води. Для гасіння коксу застосовують стічні води хімічних цехів, очищені на біохімічній установці.



1 – опора; 2 – насос; 3- колектор; 4 – обладнання зрошування; 5 - форсунки;
6 – гасильний вагон; 7 – башта гасіння

Рис. 1.1. Схема установки мокрого гасіння коксу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [1]

Попередньо вони повинні бути повністю очищені від смоли, масел, нафталіну, так як вони покривають кокс плівкою, що перешкоджає проникненню води всередину кусків. Вміст фенолів у воді не повинен перевищувати 50

мг/л [3]. Витрата води на гасіння коксу становить 3-4 м³ на тонну сухого валового коксу, причому витрата на випаровування, крапельне винесення і зволоження коксу складає приблизно 0,35-0,5 м³, тобто 10-12 % від загальної кількості води, поданої на гасіння [3]. Велика ж частина води знаходиться в оборотному циклі; вода оборотного циклу забруднюється коксовим дрібняком і потрапляє для освітлення в спеціальні відстійники. Після відстою вода знову використовується для гасіння коксу. Періодично з відстійників грейфером видаляють коксовий шлам.

Після закінчення гасіння коксу вагон повинен відстоюватися під гасильною баштою для стоку воду. Тривалість гасіння і відстою встановлюється розпорядженням по цеху. Залежно від характеристики води, вживаної для гасіння і температури нагріву коксу, змінюється час гасіння коксу. В середньому час гасіння коксу складає від 1 хв. 20 сек. до 2 хв. За всіх умов відстій вагону з коксом під баштою гасіння повинен продовжуватися не менше 50 секунд [3].

З гасильного вагону охолоджений кокс вивантажують на вільне місце коксової рампи. Кокс що видається на рампу не повинен містити кусків, що не догасилися, і до подачі на коксортувальню витримується на рампі протягом 15-20 хв. Під рампою розташовані конвеєри для подачі коксу на сортування. Відкриття затворів рампи механізоване. При виявленні на рампі кусків коксу, що не догасилися, їх негайно гасять [3].

Автори в роботі [1] визначили за результатами досліджень, проведених заводськими лабораторіями, що в залежності від сировинної бази коксування і стану обладнання в хімічних цехах вміст домішок у воді для гасіння може коливатися в таких межах: сульфатів - 0,13-8,9 г/л, летючого і пов'язаного аміаку - 0,1-0,35 і 1,9-2,7 відповідно, хлоридів - 3,5-4,5, роданідів 0,8-1,1, ціанідів - 0,025-0,2 і фенолів - 0, 4-0,8 г/л [1]. У процесі гасіння коксу частина названих речовин згорає, частина віддувається з парами і несеться з вежі гасіння, а частина залишається у воді.

Аналізи показують, що у воді після гасіння вміст летючого аміаку зменшується приблизно в п'ять, сірководню - в десять, а фенолів - в п'ять-шість разів [1].

З парового шлейфу, що поширюється від вежі гасіння на десятки метрів, випадає крапельна волога і тверді частинки, які захоплені інтенсивним потоком парогазової суміші.

Крім забруднення повітряного басейну, це призводить до посиленої корозії металоконструкцій, розташованих поблизу вежі гасіння (скіпові підйомники, газопроводи, конструкції обслуговують майданчиків на кінцях батарей і ін.), оскільки в конденсаті виявляються у великій кількості хлориди, ціаніди, роданіди, сульфати і інші агресивні речовини.

Так, за даними Жданівського КХЗ швидкість корозії стали марки Ст в районі вежі гасіння дорівнює 0,49 мм/рік, тоді як в звичайних атмосферних умовах КХЗ вона складає 0,10-0,12 мм/рік [3].

Перевагами мокрого гасіння коксу є низька вартість установки, простота обслуговування, мала енергоємність устаткування [4]. Але при мокрому гасінні погіршується якість коксу та відбувається забруднення навколишнього середовища. Недоліками методу мокрого гасіння коксу є:

1) значна втрата тепла. Майже половина тепла втрачається з парами води (ці втрати складають приблизно 40-45 % від загальних витрат тепла на проведення процесу коксування [3], за іншими даними 45-50 % [4].

2) додаткові транспортні витрати.

3) витрати на перекачування води;

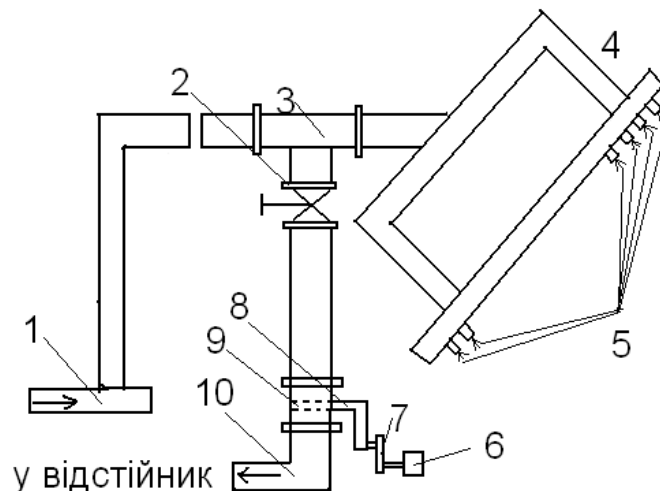
4) гасильний вагон швидко виходить з ладу через інтенсивну сірчистої корозії.

5) в результаті швидкого випаровування вологи при зрошуванні коксу водою відбувається додаткове утворення тріщин в коксі, що позначається на його гранулометричному складі.

Враховуючи недоліки спосіб мокрого гасіння вдосконалюється.

1.1.2 Метод імпульсного гасіння коксу

Відомі різні методи вдосконалення способу мокрого гасіння. Так Д.А. Мучник [5] запропонував застосувати метод імпульсного (преривного) гасіння коксу. На трубопроводі, що підводиться до колектора зрошування, вмонтовуються трійник, засувка і клапан з електроприводом. Цикл гасіння розбивають на імпульси і паузи, число пауз від 3 до 5. Пауза – це час, коли клапан відкритий, вода зливається у відстійник і не поступає на зрошувальний пристрій башти. При зіткненні води з нагрітою поверхнею коксу утворюється суцільна плівка пара, яка відокремлює рідину від поверхні нагріву, що створює додатковий тепловий опір. Безперервна подача води на зрошування, перешкоджає видаленню цієї парової плівки, але якщо тимчасово припиняють подачу води, після паузи поступаюча вода взаємодітиме безпосередньо з поверхнею коксу, унаслідок чого ефективність процесу охолодження зростає (рис.1.2) [6]. Застосування імпульсного гасіння коксу сприяє рівнішому охолодженню коксу, підвищенню його міцності, зменшенню винесення коксового шламу з вагону і деякому зниженню вмісту сірки [6].



1 – трубопровід від насосів гасіння; 2 – засувка; 3 – ланка трубопроводу (трійник); 4 – колектор; 5 – форсунки; 6 – електродвигун; 7 – редуктор; 8 – вал клапана з важелями; 9 – корпус з клапаном; 10 – скидний трубопровід

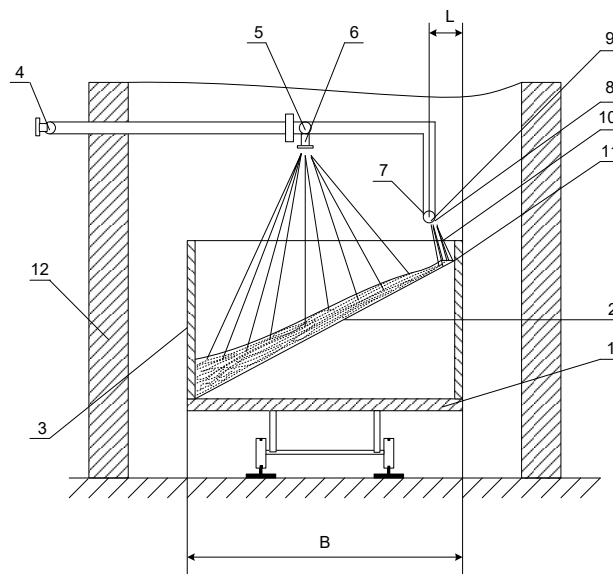
Рис 1.2. Схема імпульсного гасіння коксу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

Цей метод запроваджено Макеєвському, Ясиновському та інших КХЗ.

1.1.3 Технологічна схема комбінованого охолодження коксу водяними парами й циклічною подачею води

В умовах КХВ ЗАО «Макеєвкокс» працює технологія мокрого гасіння, що поєднує імпульсне та двоконтурне охолодження коксу [6]. Гасіння коксу здійснюють сполученням імпульсного способу подачі води по довжині вагона двома потоками: одним по верхньому краю й днищу гасильного вагона, іншим - по середині засипки коксу. Для забезпечення імпульсного гасіння пропонується система автоматичного керування електроприводом насоса гасіння коксу, що складає із частотного перетворювача й блоку керування. Удосконалена установка мокрого гасіння (рис. 1.3) містить у собі гасильний вагон з кузовом 1, похилим днищем 2 і вертикальною стінкою 3.



1 - гасильний вагон з кузовом, 2 - похиле днище; 3 - вертикальна стінка;
4 - зрошувальний пристрій; 5, 7 - колектора; 6, 8 - форсунки; 9 - отвори;
10 - водяна завіса; 11 - верхній край похилого днища; 12 - гасильна вежа

Рис.1.3. Установка мокрого гасіння коксу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

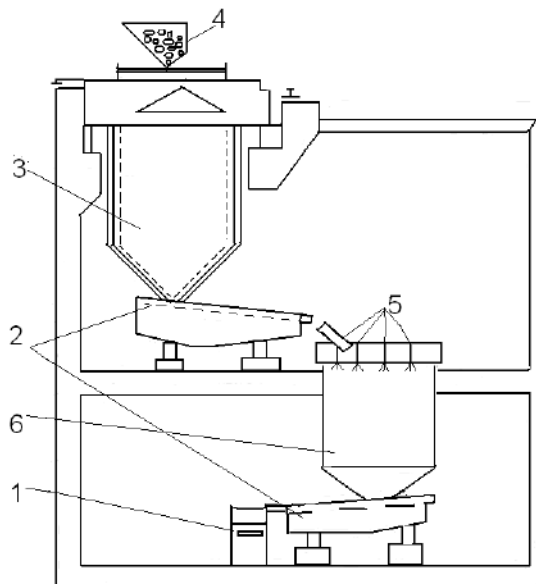
Зрошувальний пристрій 4, розташований над кузовом 1, складається з колектора 5, обладнаного рядом форсунок 6, і колектора 7, обладнаного рядом форсунок 8. Колектор 7 з форсунками 8 розташований уздовж поздовжньої осі гасильного вагона 1. Колектор 5 служить для подачі основного потоку охолоджувальної води на поверхню коксу, при цьому форсунки 6 обладнані сопловими отворами, які забезпечують утворення цільного факела диспергированої води, що перетинає всю поверхню коксу у вагоні. Колектор 7 служить для подачі додаткового потоку води для гасіння, при цьому форсунки 8 обладнані отворами 9, що забезпечують суцільну водяну завісу 10. Форсунки 8 розташовуються в одному ряді паралельно поздовжньої осі вагона збоку проти вертикальної стінки 3 кузова вагона.

Установка мокрогасіння коксу працює в такий спосіб (див. рис.1.3). Гасильний вагон, заповнений шаром розпеченого коксу, подається під зрошувальний пристрій 4 гасильної вежі 12. Вода для гасіння подається насосом у систему зрошення двома потоками, один із яких направляєється в основний колектор 5, інший в додатковий колектор 7. Через основний колектор на гасіння подається 85 % води, через додатковий - 15 % [7]. Двоконтурне підведення води до засипки розпеченого коксу дозволяє остудити його водяними парами, спрямованими знизу нагору коксової засипки. Для регулювання процесу охолодження коксу передбачена імпульсна подача води внаслідок устаткування двигунів насосів частотними перетворювачами електричного струму. Регламент гасіння встановлюють по даним кінцевої температури коксу, перепаду температур коксу в гасильному вагоні при його гасінні та температури коксу на рампі.

При складанні регламенту пульсації треба враховувати той факт, що подача води на зрошення становить не 3 хвилини, а менше, тому що останнім циклом повинен бути відстій, під час якого з вагона віддаляється надлишкова вода. До реконструкції при безперервному зрошенні відстій тривав 50-60 с, а при двоконтурному гасінні, з огляду на короткий останній імпульс, 35-40 с. Сумарний час зрошення становить 70 с, а перерв - 130 с.

1.1.4 Метод безперервного гасіння коксу підземного типу

Відомий спосіб безперервного гасіння підземного типу, схема роботи установки зображена на рис. 1.4 [6]. Кокс вивантажується з вагону у приймальний бункер. Герметичність при вивантаженні коксу досягається за допомогою рухомого пиловловлюючого ковпака зі спеціальним ущільненням. З приймального бункера по двох вібраційних жолобах гарячий кокс поступає в гасильну камеру, в якій зрошується водою з п'яти форсунок. З гасильної камери кокс прямує на вібраційний жолобі потім стрічковим конвеєром подається на коксортувальню.



1 - конвеєр; 2 - віброжолоб; 3 - приймальний бункер; 4 - вагон; 5 - форсунки;
6 - камера гасіння

Рис. 1.4. Схема установки безперервного мокрого гасіння підземного типу

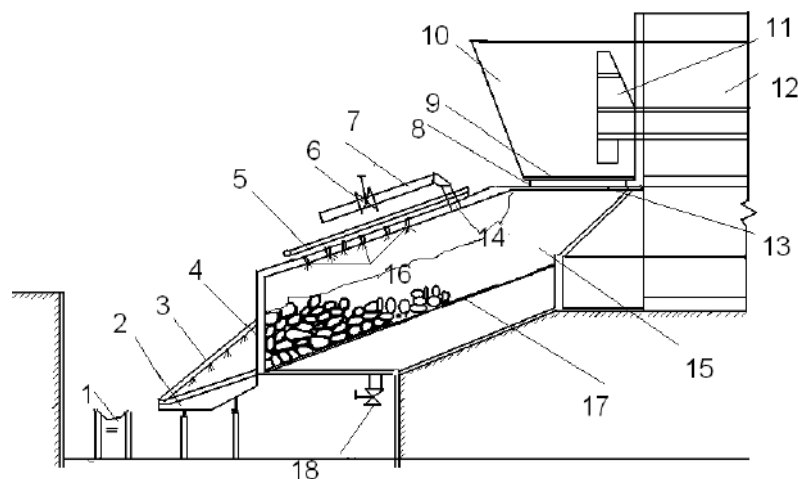
Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

1.1.5 Комбіноване мокре і сухе гасіння

Ефективним є також спосіб комбінованого мокрого й сухого гасіння коксу, який було запропоновано у США (багатокамерна УСГК); камери використовую-

ються по черзі: у першій стадії – для мокрого гасіння, в другій – для сухого [6]. Камери забезпечені механізмами подачі і розвантаження коксу, а також вентиляним обладнанням для регулювання подачі води і інертного газу, вживаних для гасіння коксу.

У першій стадії (мокре гасіння) температура коксу знижується до 500-600 °С, тобто до температури, коли вірогідність самозагорання коксу стає вже мінімальною. Подальше гасіння коксу до 200 °С проводиться в цій же камері інертним газом. При повторному зрошуванні водою температура коксу знижується до 50 °С. Схема установки для гасіння коксу комбінованим способом представлена на рисунку 1.5 [6]. Вдосконалення способів охолодження коксу водою в основному направлено на поліпшення рівномірності зрошення. В цьому напрямку удосконалювалися конструкції форсунок, оптимізували розташування водяних колекторів в башті гасіння коксу та інше.



- 1 – стрічковий транспортер; 2 – жолоб; 3 – зрошуючий пристрій; 4 – щит;
 5 – труби; 6 – вентилятор; 7 – труба; 8 – колія; 9 – вагони; 10 – щит; 11 – прес;
 12 – коксові печі; 13 – люк камери гасіння; 14 – отвір; 15 – камери гасіння;
 16 – сопла; 17 – перфороване дно; 18 – петит

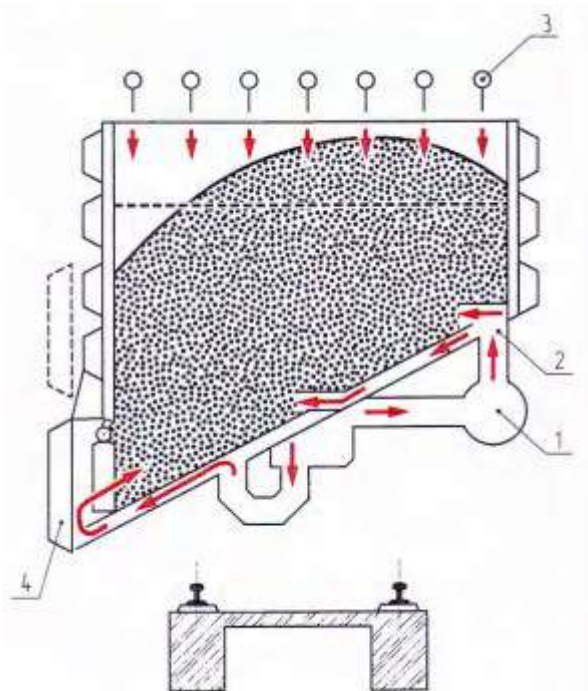
Рис. 1.5. Схема установки комбінованого мокрого і сухого гасіння коксу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

Відомі технічні рішення, що поєднують процес гасіння з механічною обробкою коксу [1]. Як і багато інших способів, він не апробований в промислових умовах.

1.1.6 Технологія мокрого гасіння коксу з комбінованою подачею води

Гіпрококсом розроблений спосіб мокрого гасіння коксу з новою системою краплевідбійників і зрошування пароповітряної суміші, що виходить з башти. Спосіб передбачає гасіння коксу в коксогасильному вагоні комбінованим способом. Воду на гасіння подають зверху безпосередньо на розжарений кокс і знизу – на дно вагону [8] (рис. 1.6).



1 - колектор під днищем вагона; 2 - подача води в днище; 3 - зрошувальний пристрій для подачі води зверху; 4 - два ряди затворів

Рис. 1.6. Схема подачі води в кузов гасильного вагона

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8]

Технологічний процес виробництва коксу закінчується видачою його. З камери коксової печі, пройшовши направляючу ванну дверезйомної машини, кокс поступає в коксогасильний вагон. Особливості конструкції коксога-

сильного вагону дозволяють приймати кокс у двох виконаннях: з пересуванням вагону і без пересування вагону.

При прийомі коксу звичайним способом – гасильний вагон повинен рухатися з такою швидкістю, яка забезпечує розподіл коксу рівномірним шаром по всій довжині вагону.

При прийомі коксу з однієї постановки (без пересування) габарити коксогасильного вагону значно скорочуються. При цьому з'являється можливість застосування зонти для відведення пилю на дверезйомній машині відповідних габаритів, що перекриває повністю габарити вагону. Таке рішення забезпечує скорочення викидів при прийомі коксу у коксогасильний вагон, оскільки він в цей час нерухомий і повністю накритий пиловловлюючим зонтом, при цьому забезпечується мінімальний угар коксу під час його транспортування до гасильної башти зважаючи на скорочення площі вагону [8].

Незважаючи на удосконалення способу мокрого гасіння основні недоліки залишаються, а саме збільшена вологість коксу, її коливання та погіршення фізико-механічних властивостей.

Більш економічним і прогресивним є метод сухого гасіння коксу.

1.2 Принцип роботи процесу сухого гасіння коксу

Спроби корисного використання цього тепла були ще в 1920-х рр. Компанією «Зульцер» (Швейцарія) були побудовані перші установки сухого гасіння (УСГК) з використанням тепла коксу для виробництва пари [3, 7]. В СНГ перша дослідно-промислова установка сухого гасіння коксу була побудована на Керченському коксохімічному заводі в 1937 році [7]. Ця установка складалася з двох підземних камер, виконаних у вигляді односхилих бункерів з кутом нахилу 45° , і володіла істотними конструкційними і технологічними недоліками. Спосіб не набув поширення через низькі параметри пари і його забрудненості. Роботи зі створення перспективного способу сухого гасіння були продовжені в період відновлення після війни. Наступна дослідно-

промислова установка сухого гасіння коксу в складі однієї камери продуктивністю 40 т/год погашеного коксу була побудована за проектом Гипрококсу і тресту «Укренергочормет» і введена в експлуатацію на коксохімічному виробництві Череповецького металургійного заводу в 1960 році [7]. Установка була виконана у вигляді прямокутного бункера з надземним його розташуванням. У конструкцію камери заклали нові рішення, які принципово відрізняли її від всіх раніше застосованих в Європі модифікацій установок бункерного типу. При сухому гасінні охолодження проводять шляхом продування через шар розжареного коксу інертного газу, циркулюючого в замкнутій системі. Нагрітий інертний газ проходить на котел-утилізатор і таким чином використовується тепло коксу. Головна відмінність полягала в конструкції камери гасіння, зокрема в системі підведення і відведення газового теплоносія. Позитивні результати роботи установки стали підставою для широкого застосування УСГК як основного способу гасіння коксу. Перша промислова УСГК в складі двох блоків загальною продуктивністю 100 т/год погашеного коксу була введена в роботу в 1965 році на коксохімічному виробництві Череповецького металургійного заводу. Усього, за період після 1965 року по теперішній час, було побудовано 28 установок сухого гасіння коксу конструкції Гипрококсу кількістю 91 блок [3]. Реалізовано ліцензії на технологію Гипрококсу в Японії, Німеччині, Польщі, Італії та інші країни. У таблиці 1.1 наведені характеристики проектів УСГК Гипрококсу в Україні [3]. Широке застосування сухе гасіння коксу отримало в Японії і Китаї. Так в Китаї в 2009 р перебували в експлуатації 128 блоків УСГК, загальною потужністю 124 млн. т коксу/рік. З них на 69 діючих блоках здійснювалося гасіння 61,3 млн. т, що складало 16,3 % від усього виробництва коксу в країні [3]. Спосіб сухого гасіння коксу і установка для його реалізації базується на охолодженні коксу в камері гасіння коксу охолоджувальним агентом, який циркулює в системі циркуляції охолоджувального агента [3]. Камера гасіння коксу являє собою вертикально розташовану шахту, футеровану вогнетривкою кладкою, в яку за допомогою дозованого завантаження подають кокс.

Таблиця 1.1

Проекти УСГК в Україні

Підприємство	Батарея		УСГК		Розташування блока УСГК	Тип підйомника	Тип котла	Дата пуску	Примітки
	№	Потужність коксу, тис.т/год.	Кількість блоків	Потужність одного блоку, т/год.					
ПАТ «Авдіївський КХЗ»	3-4	690×2	4	50	Паралельно батареї	Груп.	КСТ-80	1966	
	5-6	690×2	4	50	Паралельно батареї	Груп.	КСТК-25/39	1974	
	7-8	912×2	7	50	Паралельно батареї	Груп.	КСТК-25/39	1976	
	9	910	4	50	В торці батареї	Індивідуаль.	КСТК-25/39	1980	
КХВ ПАТ «АМКР»	7-8	790×2	5	50	Паралельно батареї	Груп.	КСТК-25/39	1970	Виведена з експлуатації
	9-10	790×2	5	50	Паралельно батареї	Груп.	КСТК-25/39	1975	Виведена з експлуатації
ПАО «Алчевський кокс»	10-біс	1000	3	70	В торці батареї	Індивідуаль.	КСТК-35/40-100	2007	

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [7]

Гасіння коксу в камері гасіння здійснюється пропусканням через шар коксу охолоджувального агенту, інертного по відношенню до коксу. Під час проходження охолоджувального агенту через шар коксу відбувається теплообмін, в результаті якого кокс віддає своє тепло охолоджувальному агенту, який потім відводиться з камери гасіння коксу в систему циркуляції охолоджувального агенту.

Система циркуляції охолоджувального агенту містить, як правило, фільтр грубого очищення, звичайно виконаний у вигляді пилеосадного бункера, котел-утилізатор, що являє собою відносно герметичну камеру, в якій розміщені теплообмінні поверхні, яким охолоджувальний агент віддає тепло, і засіб для відведення надлишкового об'єму охолоджувального агенту з системи циркуляції. Після котла-утилізатора встановлено фільтр тонкого очищення охолоджувального агенту, виконаний у вигляді циклона, далі розташований димосос.

Під час роботи УСГК частина системи циркуляції постійно перебуває під значним розрідженням, що приводить до присисань повітря в систему

циркуляції охолоджувального агенту. У систему циркуляції охолоджувального агенту входить свічка, як засіб для відведення надлишкового об'єму охолоджувального агенту, яка призначена для скидання в атмосферу надлишкового об'єму охолоджувального агенту, що утворюється в системі циркуляції охолоджувального агенту в результаті присисань повітря. У результаті, УСГК працює в певному аеродинамічному режимі, а саме, у верхній частині камери гасіння коксу підтримують значення тиску, близьке до атмосферного (так званий -аеродинамічний нуль), що попереджає викид охолоджувального агента під час подачі (завантаження) коксу в камеру гасіння коксу, а також запобігає потраплянню в охолоджувальний агент повітря, присутність якого в охолоджувальному агенті приводить до вигару коксу. Підтримання у верхній частині камери гасіння коксу аеродинамічного нуля здійснюється за рахунок скидання надлишкового об'єму охолоджувального агенту в атмосферу через свічку системи циркуляції охолоджувального агенту. Свічка системи циркуляції охолоджувального агенту встановлена після тяго дуттьового пристрою. У процесі роботи УСГК в нижній частині камери гасіння коксу значення тиску перевищує атмосферне на 200-300 кгс/м², внаслідок великого опору коксу під час проходження охолоджувального агенту через кокс, що приводить до викидів охолоджувального агенту з камери гасіння коксу в момент вивантаження коксу на транспортний засіб, наприклад, конвеєр. Для того, щоб запобігти викиду охолоджувального агенту з нижньої частини камери гасіння коксу, встановлюють засіб для безперервного вивантаження коксу, який зазвичай складається з дозатора і проміжного бункера. Визначення величини присисання повітря в систему циркуляції охолоджувального агенту здійснюється в процесі роботи УСГК. Так, під час роботи УСГК, датчик тиску, розташований у верхній частині УСГК, постійно контролює значення тиску верхній частині камери гасіння коксу. При збільшенні тиску у верхній частині камери гасіння коксу відбувається скидання надлишкового об'єму охолоджувального агента з системи циркуляції охолоджувального агента через свічку в атмосферу.

Під час скидання надлишкового об'єму охолоджувального агенту через свічку в атмосферу здійснюють виміри кількості охолоджувального агенту за допомогою відомих засобів, наприклад, витратомірів. Після чого визначають, який надлишковий об'єм охолоджувального агенту був скинутий в атмосферу в одиницю часу (год). Потім ділять отримане значення на значення кількості охолоджувального агенту, яке прийшло на гасіння коксу в камері гасіння коксу за той же проміжок часу (год), після чого отримують коефіцієнт присисання повітря. На основі коефіцієнта присисання повітря судять про ефективність роботи УСГК. Коефіцієнт присисання повітря в УСГК може становити до 15 %. При коефіцієнті присисання повітря, рівному 15 %, УСГК зупиняють на капітальний ремонт. При сухому гасінні коксу тепло розжареного передається газоподібному теплоносію, який потім поступає до теплообмінної поверхні. Як теплообмінний апарат, де використовується вторинне тепло, можна застосовувати паровий котел, повітря- або газопідігрівач або поєднання різних теплообмінних апаратів і силових установок [6]. В період гасіння коксу в системі безперервно циркулює охолоджуючий газ, що прокачується вентилятором (димососом). Розжарений кокс, що при цьому знаходиться в гасильній камері, охолоджується, а циркулюючий газ нагрівається. Тепло газу в теплообміннику передається вторинному теплоносію. Процес охолодження відбувається поволі і рівномірно і не супроводжується утворенням додаткових тріщин в коксі. Циркулюючий газ, послідовно проходячи через шари коксу, нагрівається до 600-800 °С, а температура коксу знижується з 950-1050 °С в зоні завантаження до 150-250 °С в зоні вивантаження [6].

1.3 Обґрунтування доцільності використання сухого гасіння коксу

Обґрунтування доцільності застосування сухого гасіння коксу базується на трьох основних тезах:

- утилізація тепла розпеченого коксу з отриманням водяної пари (водяна пара може використовуватися для технологічних потреб підприємства або для виробництва електроенергії);

- поліпшення показників якості коксу;

- зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу (ліквідується шлейф парогазових викидів з витяжної труби башти мокрого гасіння), як наслідок - зменшується корозія обладнання.

При сухому гасінні тепло розжареного коксу передається газоподібному теплоносію, який потім поступає до теплообмінної поверхні. Як теплообмінний апарат, де використовується вторинне тепло, можна застосовувати паровий котел. Витримка коксу у форкамері при 1050 °С супроводжується змінами фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей, в результаті чого зменшується кількість крупних класів, зростає рівномірність по крупності, збільшується щільність коксу. В таблиці 1.2 приведено порівняння обох способів гасіння.

Таблиця 1.2

Порівняння способів гасіння коксу

Способи гасіння коксу			
Мокре гасіння		Сухе гасіння	
Переваги	Недоліки	Переваги	Недоліки
1. Низькі капітальні та експлуатаційні витрати. 2. Простота схеми. 3. Легкість обслуговування	1. Шкідливі викиди до атмосфери. 2. Втрата 50 % тепла, що витрачається на коксування. 3. Зниження якості коксу. 4. Утворення значної кількості фракції менше 25 мм (близько 9 %). 5. Забруднення атмосфери шкідливими викидами.	1. Економія тепла. 2. Відсутність теплового удару при охолодження коксу. 3. Покращення фізико-механічних показників коксу. 4. Однаковий вміст вологи по всій масі коксу.	1. Значні капітальні витрати. 2. Значні витрати електроенергії на циркуляцію газів. 3. Громіздкість установок.

Примітка. Джерело: розроблено автором

Порівняння показників якості коксу, що охолоджується різними способами, але приведенного до однакової вологості показало, що кокс сухого гасіння дає

значно менший вихід дрібних класів при випробуванні, тобто є стійкішим до стирання. Так само встановлено, що втрата коксу в доменних печах при переході на кокс сухого гасіння знижується на 5-7 %, чим при використанні коксу згашеного мокрим способом. Так, для коксу сухого гасіння показник M_{40} в середньому на 5 % вище, а стиранність його по M_{10} на 0,5 % нижче, ніж коксу мокрого гасіння. Гранулометричний склад коксу сухого гасіння відрізняється вищою рівномірністю, зміст фракції + 80 мм в ньому на 1,5 % нижче, ніж коксу мокрого гасіння.

Аналіз переваг та недоліків мокрого та сухого гасіння дозволяє визначити сухе гасіння як оптимальний спосіб гасіння коксу.

У зв'язку з дефіцитом енергетичних ресурсів в Україні розвиток і освоєння техніки сухого гасіння коксу набуває особливого значення й актуальність. Широке впровадження цього процесу в коксохімічному виробництві дозволить:

- скоротити витрату природного газу й інших джерел енергії в металургійній галузі;
- істотно поліпшити екологічну обстановку в промислових центрах і умови праці на коксохімічних підприємствах;
- зменшити втрати від корозії устаткування, значно підвищити якість коксу;
- забезпечити утилізацію до 35 % тепла, що витрачається на коксування вугілля або 80 % тепла, що відноситься коксом з печей. З 1 т погашеного коксу отримують у середньому до 0,45-0,58 т пари енергетичних параметрів тиском 2,2 Мпа і температурою 450 °С [7];
- покращити фізико-хімічні та фізико-механічні властивості коксу.

1.4 Висновки до аналітичної частини

В аналітичній частині проаналізовано технології мокрого гасіння коксу, імпульсного, комбінованого охолодження коксу водяними парами й цикліч-

ною подачею води; безперервного гасіння коксу; комбінованого мокрого і сухого гасіння та сухого гасіння коксу. Їх переваги та недоліки.

Визначені недоліки процесу мокрого гасіння, які полягають в наступному:

- великі втрати тепла з гарячим коксом. Ці втрати складають приблизно 40-45 % від загальних витрат тепла на проведення процесу коксування;
- значні витрати електроенергії на зрошування коксу водою;
- пари води, що виділяються при гасінні коксу, містять в собі різні агресивні компоненти, які викликають посилену корозію металевих конструкцій поблизу гасильної башти і забруднюють атмосферу;
- в результаті швидкого випаровування вологи при зрошуванні коксу водою відбувається додаткове утворення тріщин в коксі, що позначається на його гранулометричному складі;
- дрібні фракції коксу містять значну кількість вологи (до 12-15 %), що ускладнює їх грохочення і можливість ефективного використання.

На підставі аналізу існуючих технологій гасіння коксу вибрали технологію сухого гасіння коксу. Така технологія дозволяє досягти: відсутність викидів парів води в атмосферу і стічних вод з гасильної башти; можливість покриття потреби коксохімічного заводу в парі за рахунок тепла коксу; отримання споживачем сухого коксу мінімальної вологості; отримання більш однорідного коксу за крупністю; поліпшення якості коксу, так як в він не відчуває руйнування через різке охолодження; усунення корозії металоконструкцій від парів мокрого гасіння; виключення викидів шкідливих речовин (коксового пилу, оксиду вуглецю, аміаку, фенолів, сірководню і ін.), що мають місце при мокрому гасінні коксу.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Застосування установок сухого гасіння коксу з метою підвищення його якості та енергозбереження

2.1.1 Технологічна схема установки сухого гасіння коксу

Установка сухого гасіння коксу містить:

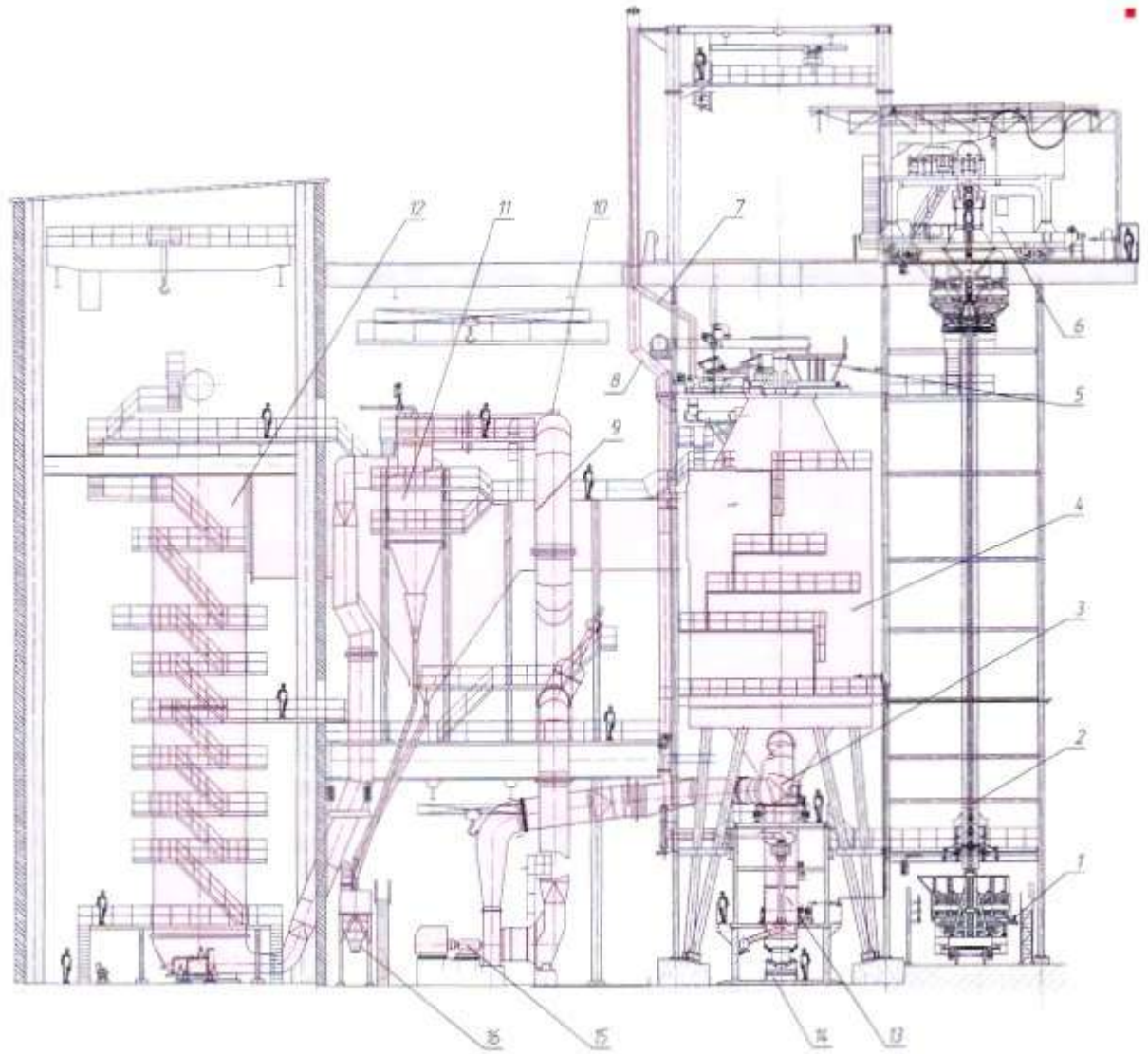
- а) камеру гасіння коксу,
- б) систему циркуляції охолоджувального агента, яка включає котел-утилізатор і примикає до камери гасіння коксу,
- в) прилад для вивантаження коксу з камери гасіння коксу.

Спосіб сухого гасіння коксу включає:

- а) дозоване завантаження коксу в камеру гасіння коксу;
- б) охолодження коксу в камері гасіння коксу охолоджувальним агентом, який циркулює в системі циркуляції охолоджувального агента;
- в) подачу коксу з камери гасіння коксу в засіб для вивантаження коксу;
- г) вивантаження коксу з засобу для вивантаження коксу на транспортний засіб.

Установка сухого гасіння коксу компонується з окремих самостійних модулів-блоків. Кожен блок складається з камери гасіння та котла-утилізатора, пов'язаних між собою системою газоходів, вентилятора (димососи), що забезпечує безперервну циркуляцію в замкнутому контурі газоподібного теплоносія. До складу циркуляційного контуру входять пристрій для виділення з теплоносія пилу: між камерою гасіння і котлом - гравітаційний пилоосаджувачі (пилеосаджувальний бункер), після котла перед димососом – центробіжні пилоосаджувальні циклони. Схематичний розріз по блоку наведено на рис. 2.1 [9]. Кількість блоків в установці визначається з умов забезпечення продуктивності обслуговуваної коксової батареї (батареї) і продуктивності одного блоку по погашеному коксу з урахуванням проведення пла-

нових ремонтів і позапланових зупинок без порушення режиму роботи коксового цеху. Камери гасіння УСГК, що складається з декількох блоків, розміщуються по одній осі і пов'язані шляхами коксовозного вагону і конвеєрами для відвантаження коксу.



1 – гасильний вагон; 2 - напрямні в шахті підйому; 3 – дутьєвий пристрій; 4 – камера гасіння; 5 – завантажувальний пристрій; 6 - під'ємник; 7 – свіча форкамери; 8 – свіча після димососу; 9 – пилоосаджувальний бункер; 10 – газоходи; 11 – циклон; 12 – котел; 13 – розвантажувальний пристрій; 14 – конвеєр погашеного коксу; 15 – димососи; 16 – збірник пилу

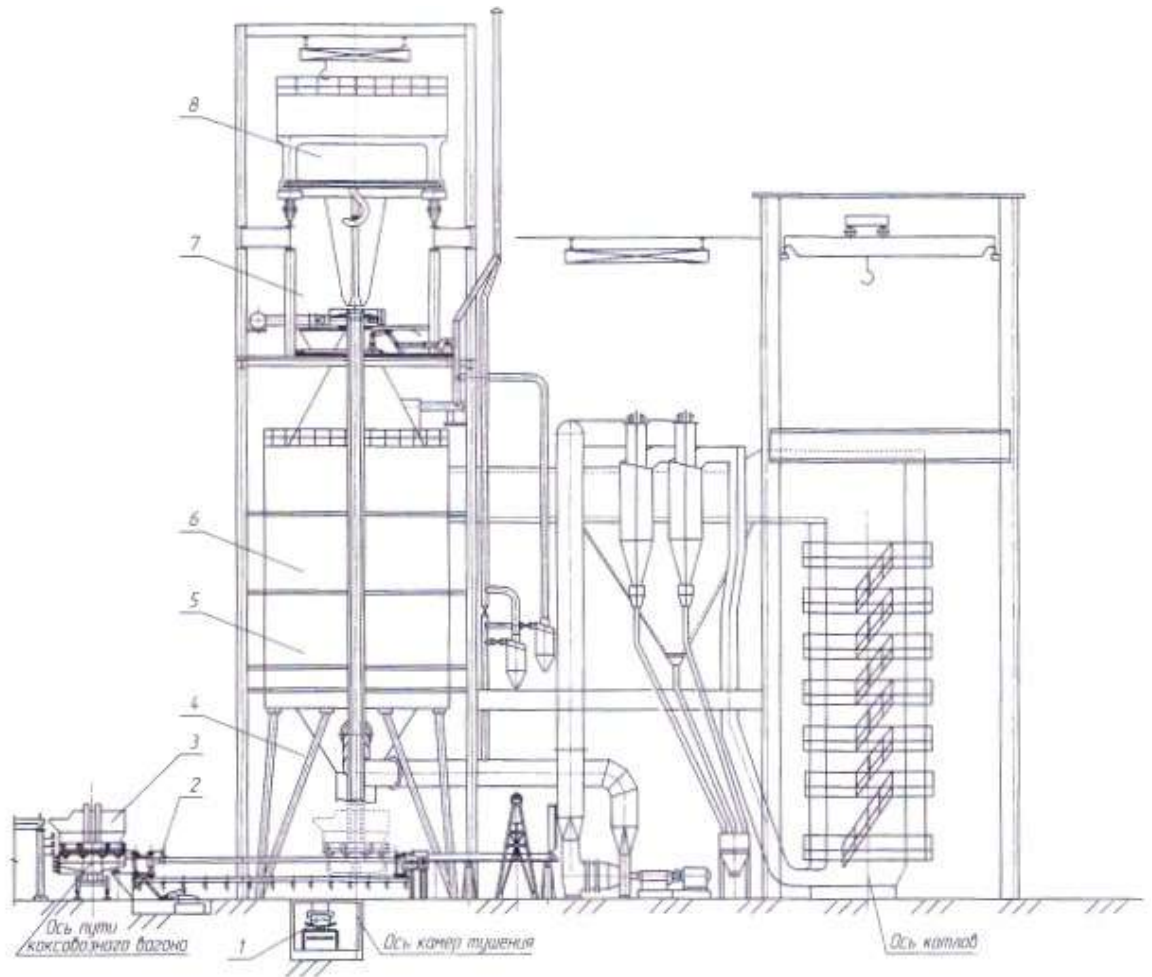
Рис. 2.1. Розріз по блоку УСГК камера гасіння – котел-утилізатор

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

Вісь блоку камера-котел перпендикулярна осі установки.

До технологічної частини установки відносять камери гасіння з пристроями для подачі в них розпеченого коксу, систему розвантаження коксу, систему аспірації та транспорту пилу. Котли-утилізатори відносяться до енергетичної частини УСГК, до складу якої включаються пристрої для виділення пилу, системи водопідготовки, насосні живильної води та інше устаткування.

На рисунку 2.2 приведена установка УСГК с груповим під'ємником.



1 - конвеєр коксу; 2 - стягуючі пристрої; 3 - гасильний вагон; 4 - розвантажувальний пристрій; 5 - напрямні в шахті підйому; 6 - камера гасіння;

7 - завантажувальний пристрій; 8 - під'ємник

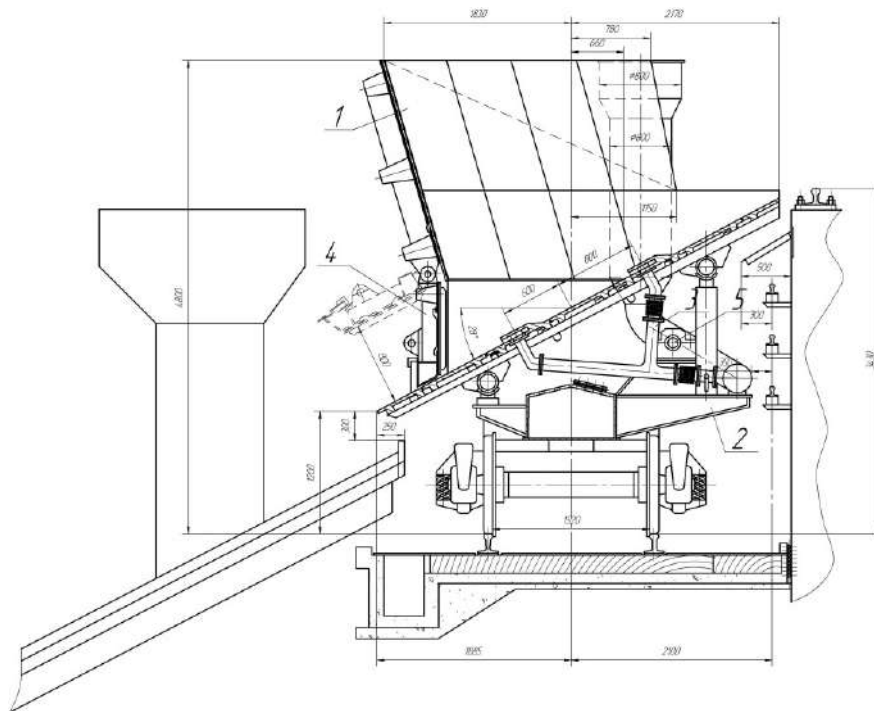
Рис. 2.2. Розріз по блоку УСГК з груповим під'ємником

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

Навантаження коксу в камери гасіння в такій установці здійснюється загальними для всіх камер гасіння під'ємником по черзі. Кузов з розпеченим коксом разом з пересувною платформою, на якій він встановлений, спеціальним транспортним пристроєм (стягуючим пристроїм) переміщається по напрямних гасильного вагона в шахту підйомника по осі камер гасіння.

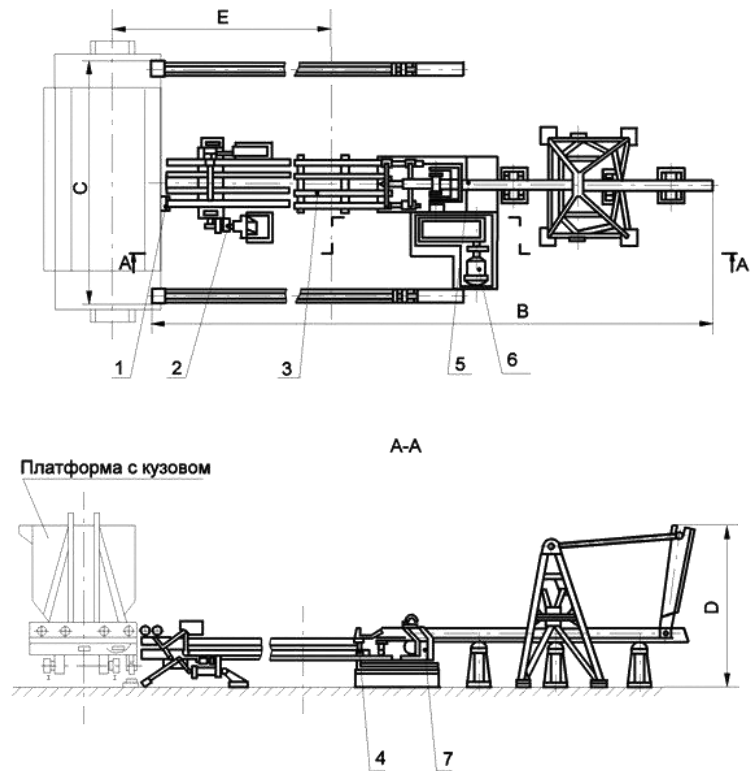
2.1.2 Аналіз основного технологічного устаткування

Кокс доставляється в спеціальних гасильних вагонах із знімними кузовами (рис. 2.3) [9]. Від коксових батарей та від УСГК і у зворотному напрямі постійно транспортується два візки гасильних вагонів (платформи), на одній з яких є кузов для приймання коксу з камер коксування.



Пристрій стягуючий

Стягуючий пристрій (рис. 2.4) призначений для переміщення платформи з кузовом коксовозного вагона до шахти підйомника УСГК і повернення кузова після вивантаження коксу [9].



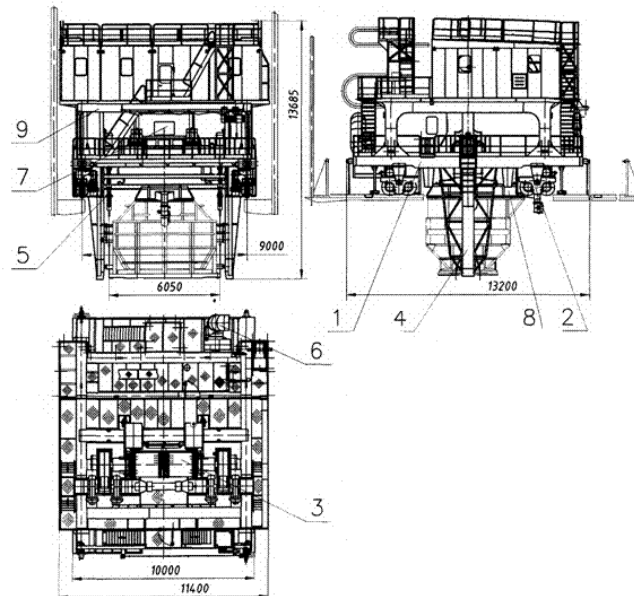
- 1 - механізм захоплення; 2 - привід механізму захоплення; 3 - напрямна;
 4 - ходовий візок; 5 - штанга; 6 - привід пересування штанги;
 7 - стояк ходової візка

Рис. 2.4. Пристрій стягуючий

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

Механізм пересування платформи з кузовом призначений для фіксації лафета коксовозного вагона по осі механізму, захоплення платформи з кузовом з одночасним відкриванням запірною пристрою, переміщення платформи з кузовом з лафета до шахти підйомника та повернення їх на лафет [9]. Механізм монтується на спеціальних фундаментах в нижній частині УСГК. Управління механізмом автоматичне.

Підйомник застосовують для підйому кузова з коксом наверх камери установки сухого гасіння (УСГК). Він виконує всі операції, пов'язані з передачею розпеченого коксу до камери гасіння (рис. 2.5).



- 1 - металоконструкція; 2 - механізм пересування; 3 - механізм підйому;
 4 - напрямна; 5 - захоплення; 6 - установка вентилятора; 7 - кабіна машиніста;
 8 - захисний екран; 9 - установка електроталі

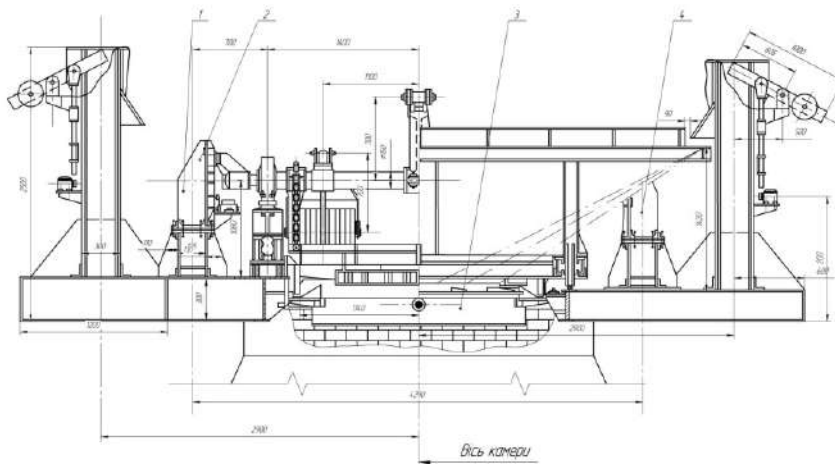
Рис. 2.5. Механізм пересування платформи з кузовом (штанга пряма)

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

Залежно від характеру обслуговування камер гасіння коксу УСГК бувають двох типів: індивідуальний - для кожної камери гасіння; груповий - для кількох камер гасіння. Підйомник пересувається по спеціальному рейковому шляху, покладеному на верху УСГК над камерами гасіння. Електропостачання підйомника здійснюється через гнучкий кабель або від спеціальних тролей через струмозійомники. Підйомник управляється оператором з кабіни.

Пристрій завантажувальний (рис. 2.6) застосовується для герметизації верхньої частини камери гасіння, відкривання горловини камери та направлення в неї через завантажувальну воронку розпеченого коксу з кузова коксовозного вагона; закриття камери, відсмоктування пилу при завантаженні

коксу. Пристрій монтується на верху камери гасіння. Управління приводом пристроїв проводиться автоматично.



1 – напрямна (права); 2 – рейковий шлях; 3 – рама завантажувального люка; 4 – напрямна (ліва)

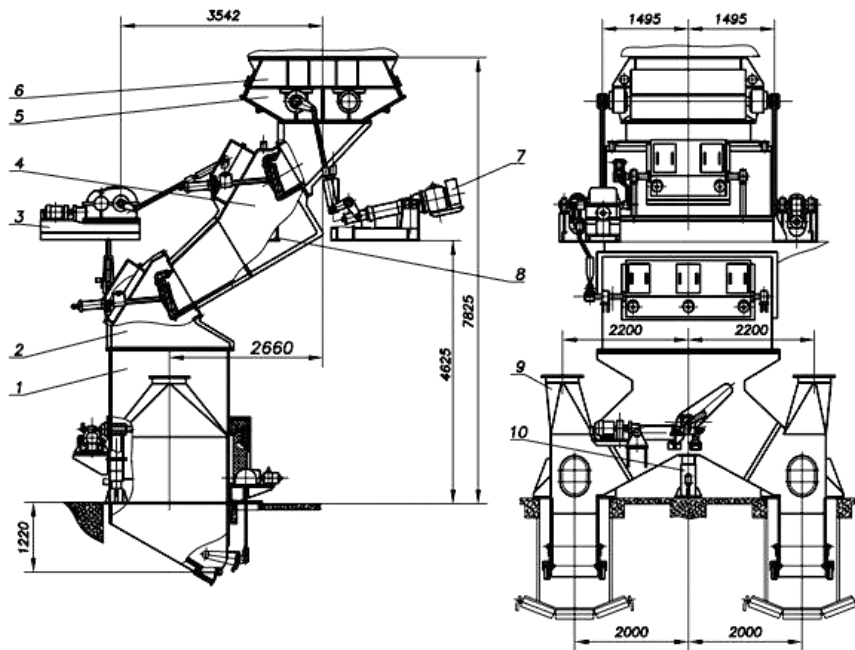
Рис. 2.6. Завантажувальний пристрій

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

Пристрій розвантажувальний (рис. 2.7) призначено для порціонного вивантаження коксу з камери гасіння УСГК на транспортер.

Пристрій встановлюється в нижній частині камери і герметизує її.

Порційне вивантаження погашеного коксу забезпечується відкриттям секторних затворів разом з затвором нижнього бункера і проміжного затвора. Кокс по одному з жолобів направляється на працюючий транспортер. Пристрій дуттьовий (рис. 2.8) застосовують для введення охолодженого інертного газу в нижню частину камери гасіння УСГК і рівномірного розподілу його по перетину камери, назустріч розпеченому коксу [7]. Монтується в нижній частині камери гасіння. Залежно від величини пропускної здатності по коксу може виготовлятися двох типорозмірів.

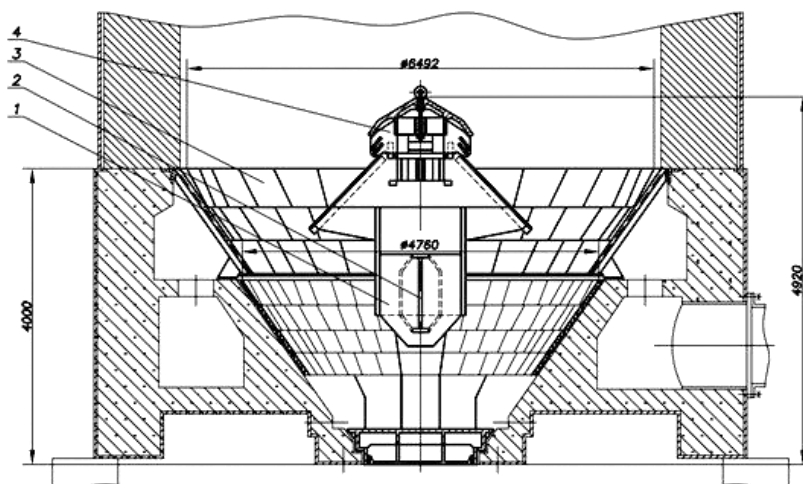


1 - бункер нижній; 2 - бункер перевантажувальний; 3 - установка приводу за-
твора; 4 - бункер проміжний; 5 - бункер; 6 - воронка; 7 - установка приводу
відсікачів; 8 - опора; 9 - лоток; 10 – стійка

Рисунок 2.8 - Пристрій розвантажувальний

Рис. 2.7. Пристрій розвантажувальний

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]



1 - розсікачі і футеровка низу бункера; 2 - шибер з приводом; 3 - воро-
нка дуттєва; 4 - головка дуттєва

Рис. 2.8. Пристрій дуттьовий

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

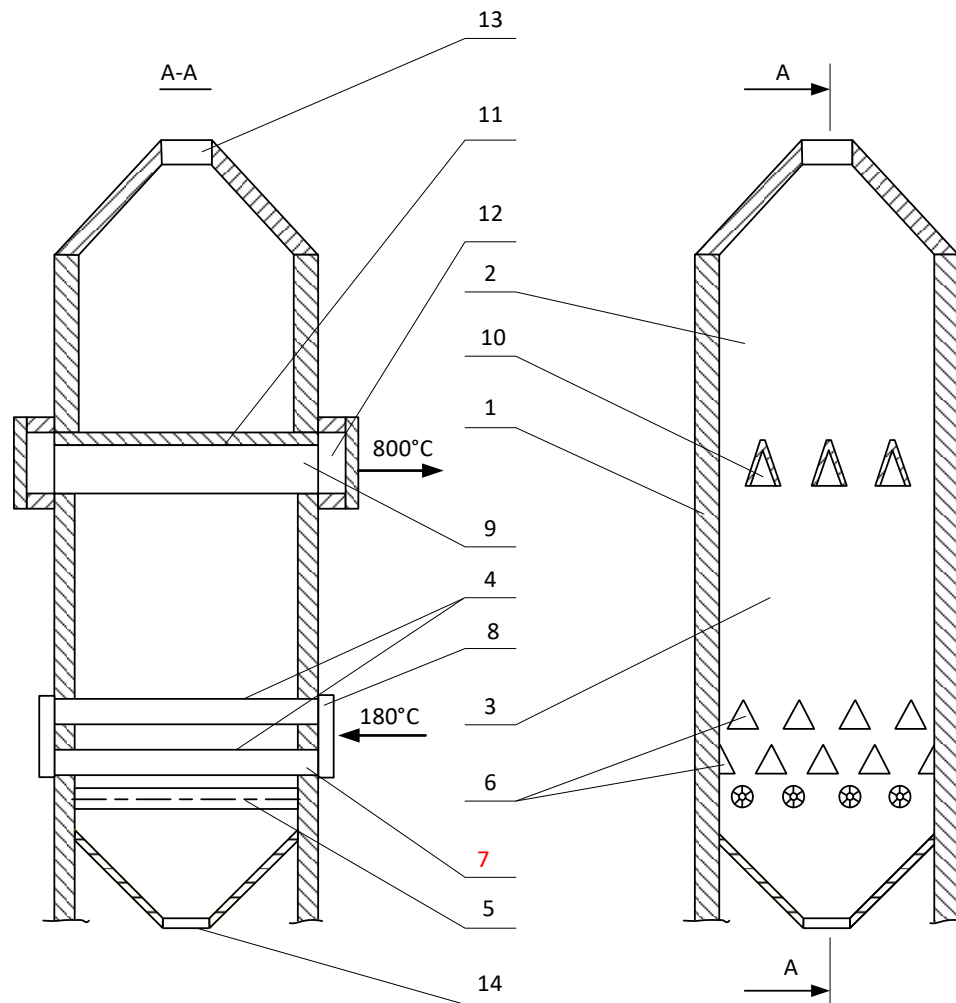
2.2 Розробка пристрою для розподілу потоків коксу і газу в камері сухого гасіння коксу

Сухе гасіння коксу здатне суттєво зменшити забруднення довкілля та поліпшити якість коксу за багатьма показниками, у т. ч. за такими важливими як індекси CRI та CSR [10, 11]. Найбільш вдалим варіантом конструктивного оформлення сухого гасіння коксу вважається установка сухого гасіння коксу (УСГК) Гіпрококсу. УСГК Гіпрококсу набули переважного поширення у світі. Крім країн колишнього СРСР, вони побудовані в Японії, Германії, Пакистані, Індії, Китаї, Угорщині, Бразилії та ін. країнах (у т. ч. за ліцензіями). Спосіб Гіпрококсу заснований на охолодженні коксу газом, що циркулює в замкнутому контурі. Його застосування дає змогу регенерувати до 35 % тепла, що витрачається на коксування вугілля. Однак широкому його застосуванню перешкоджає переважно громіздкість УСГК і велика витрата електроенергії на циркуляцію інертних газів. Значною мірою зазначені недоліки обумовлені низькою інтенсивністю теплообміну між коксом та газами у промислових камерах. За практичними даними, час перебування коксу в промислових камерах Гіпрококсу становить 2,0-2,2 години, тоді як тривалість його охолодження від 1000 до 200-220 °С, розрахована за значеннями коефіцієнтів теплообміну в експериментальних умовах, не перевищує 1,5-1,0 год [11]. Основною причиною зниження інтенсивності процесу в промислових камерах сухого гасіння є нерівномірність розподілу потоків коксу та газу у поперечному перерізі [11, 12]. Як відомо, введення газу в шар коксу в камерах Гіпрококсу проводиться частково через вертикальний патрубок, розміщений в конусній частині камери по її осі і перекритий зверху конічними кільцями у вигляді жалюзі, а частково через периферійну кільцеву щілину в конусній частині камери [11, 13]. Діаметр центрального пристрою для введення газу дорівнює 3 м, а діаметр периферійної кільцевої щілини – близько 4,5 м. Потік коксу виходить із зони теплообміну через кільцевий канал, переріз якого становить близько 26 % перерізу циліндричної частини гасіння камери. Простір під кільцевим каналом заповнений коксом, що негативно впливає на розподіл швидкостей руху коксу в

камері. Рівномірний розподіл потоків коксу і газу може бути досягнутий при використанні розподільних пристроїв, в яких канали для введення газу і виведення коксу розміщені рівномірно по всьому перерізу камери гасіння і під якими є вільний простір, щоб потік коксу розривався і подальший рух не впливав на швидкість коксу в каналах розподільного пристрою. На кафедрі хімічної технології палива ДонНТУ розроблено відповідний цим вимогам розподільний пристрій [13] (рис. 2.9 - 2.10). Камера сухого гасіння коксу (рис. 2.9) має корпус 1, розділений на форкамеру 2 і камеру 3 гасіння. Внизу камери гасіння розміщений дільник потоку коксу 4. Він виконаний у вигляді подібних балок 4, встановлених взаємопаралельно з кроком, рівним ширині основи балки (700 - 900 мм) одна від одної. При цьому балки ряду нижче зміщені на крок щодо балок верхньолежачого ряду та забезпечені пристроями для перекривання зазорів між ними, виконаними, наприклад, у вигляді барабанних секторних дозаторів (5). Внутрішня поверхня Λ -подібних балок (4) утворює розподільні канали 6. Ці канали з'єднані отворами 7 у корпусі 1 з периферійними розподільчими каналами 8 для підведення охолоджуючого газу.

З камерою гасіння (3) ходи для відведення охолоджуючого газу (9) пов'язані каналами (10), утвореними внутрішньою поверхнею Λ -подібних балок 11. Балки розміщені взаємопаралельно горизонтальній площині, яка розділяє форкамеру та камеру гасіння, із зазорами між ними 1000 – 1200 мм одна від одної.

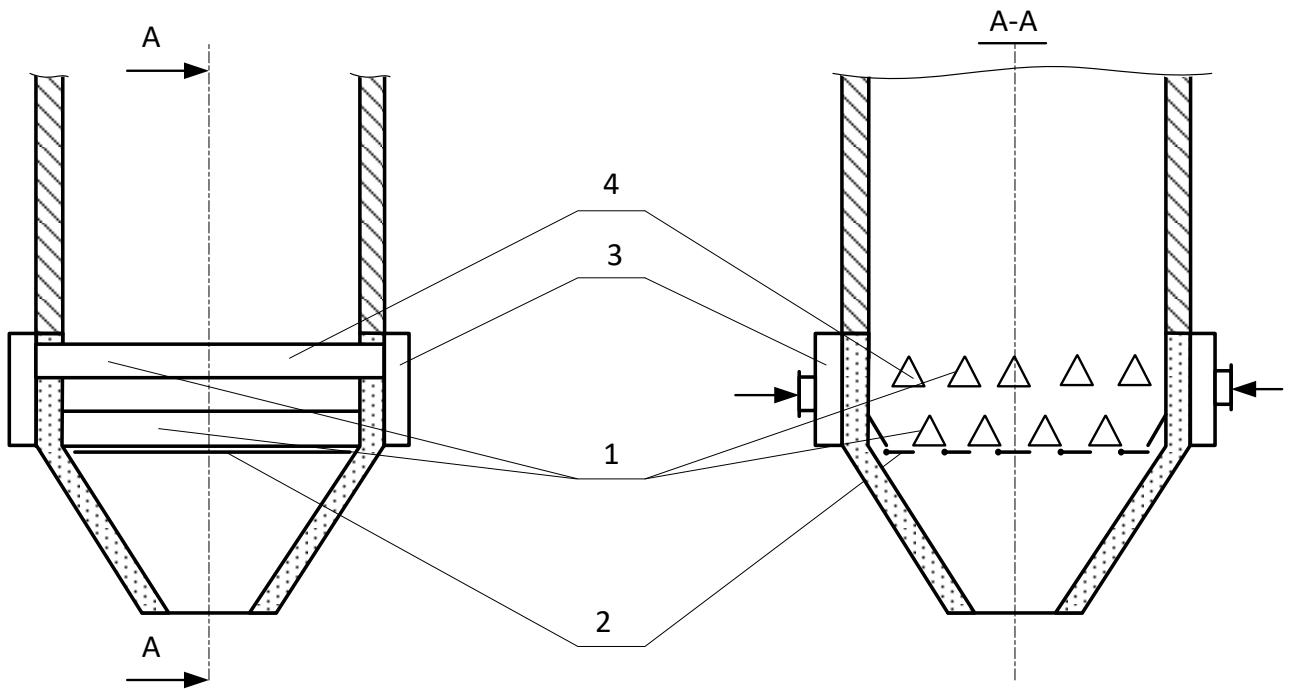
Канали (10) з'єднані ходами (9) у корпусі з периферійними збірними каналами (12) для відведення охолоджуючого газу. Камера сухого гасіння коксу має завантажувальний та розвантажувальний пристрої 13 і 14.



1 - корпус; 2 - форкамера; 3 – камера гасіння; 4, 11 – опорні балки Λ-подібної форми; 5 - барабанні секторні дозатори; 6 - розподільні канали; 7 – отвори; 8, 12 - периферійні розподільчі канали для підведення охолоджуючого газу; 9, 12 – канали для відведення охолоджуючого газу; 10 - канали Λ-подібних балок; 13 – завантажувальний пристрій; 14 - розвантажувальний пристрій

Рис. 2.9. Камера сухого гасіння коксу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11]



- 1 - опорні балки Λ-подібної форми; 2 - поворотні шибери; 3 - кільцевий канал;
4 – простір камери

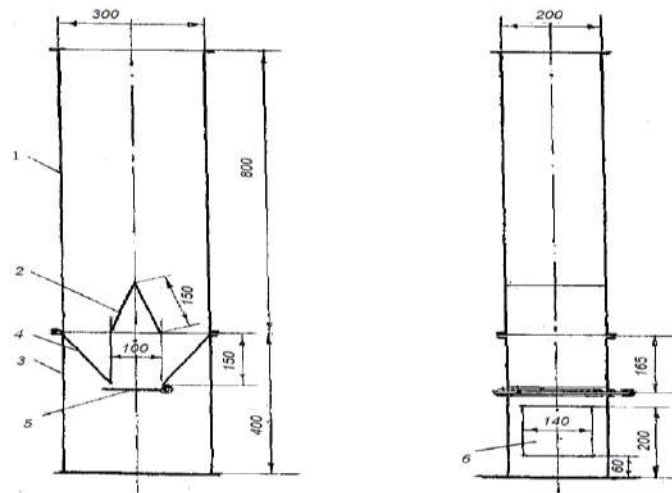
Рис. 2.10. Пристрій для розподілу потоків коксу та газу в камері сухого гасіння

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11]

Для оцінки структури потоків коксу в камері сухого гасіння з описаним розподільним пристроєм було виготовлено лабораторну модель (рис. 2.11) [14].

Камера складається:

- з верхньої частини (1) з розподільником потоку коксу у вигляді Λ-подібної балки (2);
- нижньої частини (3) з направляючими коксу (4) та поворотним шибером (5). У нижній частині є вікно (6) для розвантаження порцій коксу, що пройшли через розподільний пристрій.



1 – верхня камера; 2 - розподільник коксу; 3 – нижня камера; 4 - напрямні коксу;
5 - поворотний шибер; 6 - вікно для вивантаження коксу

Рис. 2.11. Лабораторна модель камери з розподільчим пристроєм

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Методика проведення експерименту полягала у наступному [14]. У камеру (1) завантажували 12-20 кг коксу класу крупності 10-25 мм (коксівий горішок) при закритому шибері (5) та розрівнювали поверхню засипки. На горизонтальну поверхню уклали шар індикатора - куски коксу розміром 10-25 мм, покриті білою фарбою. Маса індикатора становила близько 1,1 кг, при цьому він утворював шар завтовшки один кусок коксу. Після закінчення завантаження проводили періодичне пропускання коксу через розподільний пристрій шляхом короткочасного відкривання шибера (5), що відповідає реальній динаміці коксового руху в промисловій камері УСГК. Кожну порцію коксу (1,0-1,4 кг) витягали з камери (3) через вікно (6), вибирали з неї забарвлені шматки, після чого кокс зважували з точністю до 0,005 кг, а індикатор - з точністю до 0,0005 кг. Зважену порцію коксу знову завантажували в камеру (1) та розрівнювали поверхню завантаження. Таким чином, маса коксу в камері залишалася незмінною протягом усього експерименту, як це і має місце в промисловій камері при режимі роботи, що встановився. Експеримент тривав до відсутності індикатора у порції коксу, що вивантажується. Відсутність індикатора в камері (1) підтверджувалося порівнянням

загальної маси вивантаженого протягом експерименту індикатора з масою індикатора, завантаженого камеру перед початком експерименту.

Мета експерименту полягала в побудові кривої відгуку при імпульсному введенні індикатора, що характеризує розподіл частинок часу перебування в камері [14], в безрозмірних координатах:

$$C = f(\theta), \quad (2.1)$$

де C - відносна (безрозмірна) концентрація індикатора в порціях коксу, що вивантажуються;

θ - Відносна тривалість перебування частинок в камері.

Як видно з рис. 2.12, переважна частина індикатора виходить з камери в інтервалі 0,7-1,1 середньої тривалості перебування коксу в камері. Порівняння експериментальної кривої відгуку з розрахованими функціями розподілу свідчить про те, що функція розподілу частинок коксу за тривалістю перебування в експериментальній камері задовільно описується осередковою моделлю при значенні параметра . Слід підкреслити, що характер руху в камері сухого гасіння коксу більш коректно описується дифузійною моделлю, для якої функції розподілу часу перебування розраховуються за формулою [14]:

$$c = \sqrt{\frac{Pe}{4\pi\theta}} \cdot e^{-\frac{Pe}{4} \cdot \frac{(\theta-1)^2}{\theta}} \quad (2.2)$$

де $Pe = \frac{wl}{E}$ – критерій Пекле (Воденштейна), що характеризує інтенсивність

поздовжнього перемішування частинок у потоці;

w – середня швидкість руху частинок у потоці, м/с;

l – довжина апарату (камери) вздовж потоку, м;

E – коефіцієнт поздовжнього перемішування частинок у потоці, м²/с.

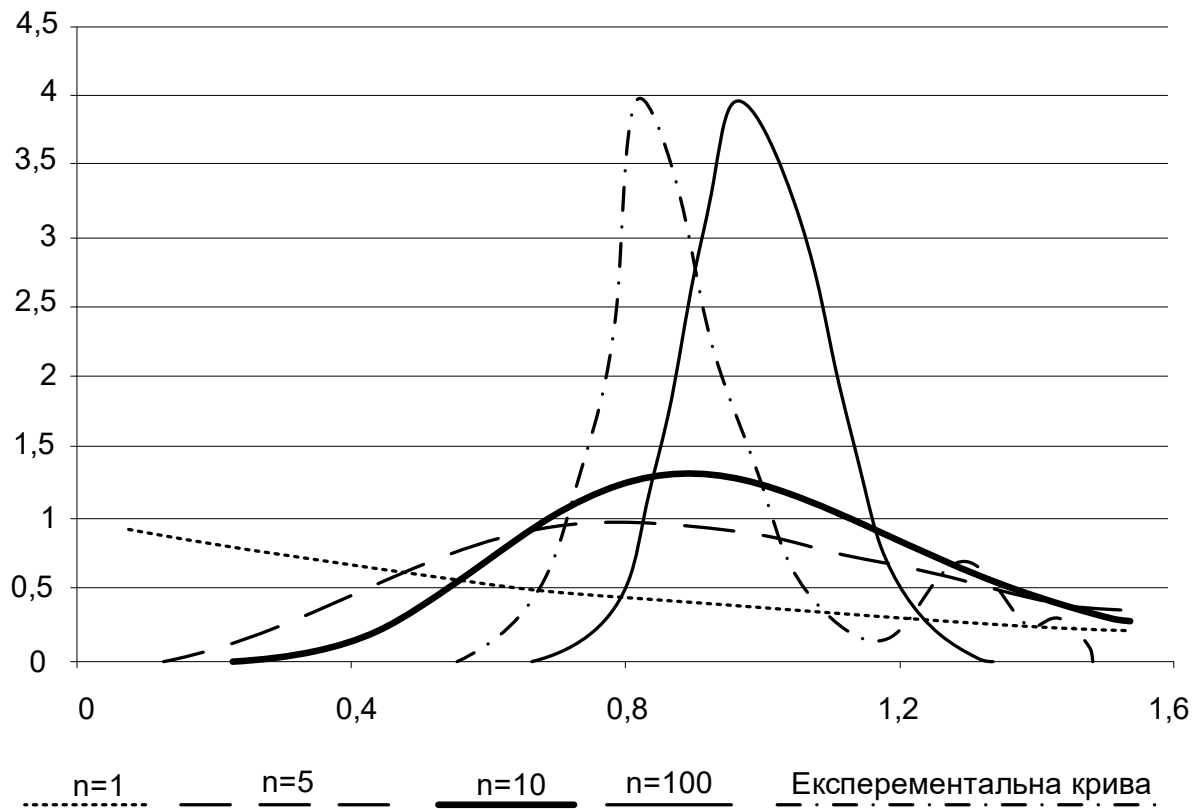


Рис. 2.12. Експериментальна та розрахункові криві відгуки для осередкової моделі при імпульсному введенні індикатора

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

На рис. 2.13 наведена експериментальна крива відгуку при початковому завантаженні коксу 12 кг (висота шару над шиббером – 460 мм) і диференціальні функції розподілу часу перебування для дифузійної моделі, з якого видно, що структура потоків в лабораторній моделі задовільно описується дифузійною моделлю при Re 180. Для порівняння відзначимо, що за даними дослідження структури потоків у різних апаратах при значеннях параметра $Re > 10$ характер руху потоку мало відрізняється від ідеального витіснення [14].

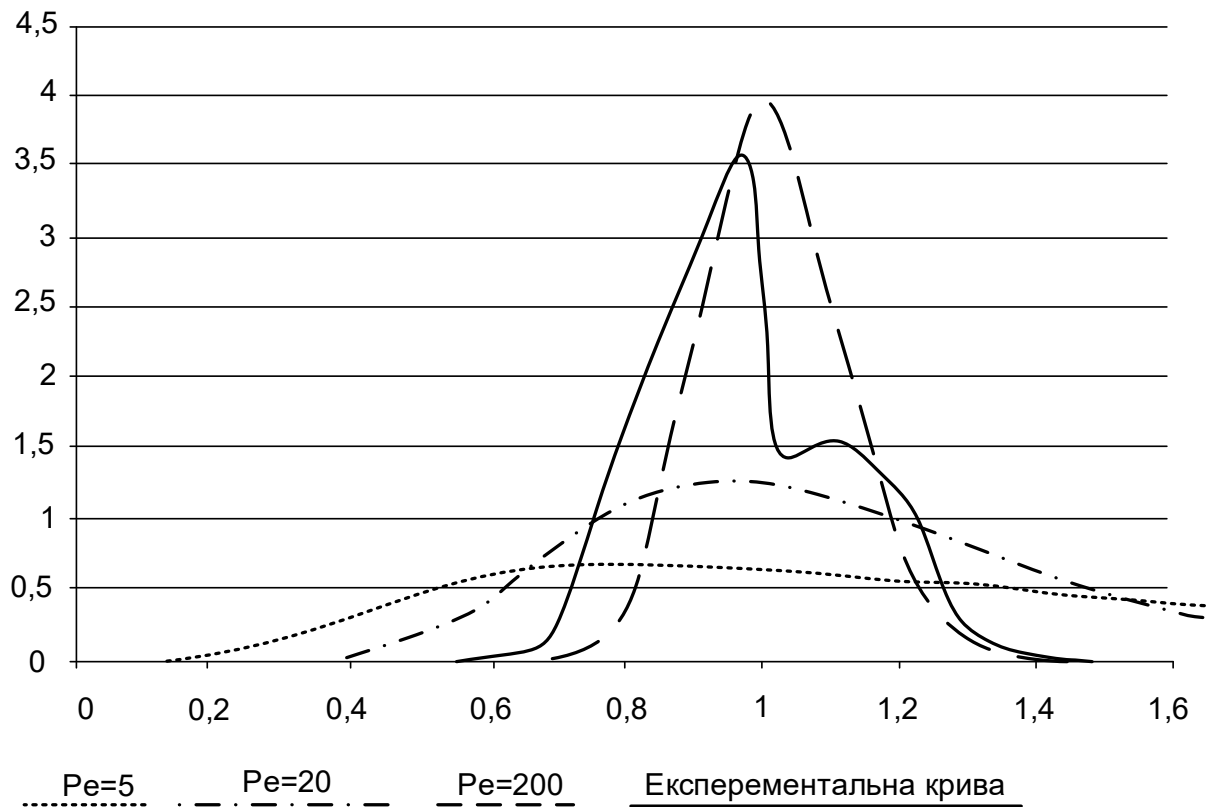


Рис. 2.13. Експериментальна та розрахункові криві відгуки для дифузійної моделі при імпульсному введенні індикатора

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11]

Таким чином, проведені дослідження структури потоків коксу в лабораторних умовах показали, що запропонований розподільний пристрій може забезпечити рівномірний переріз камери рух коксу, близький до режиму ідеального витіснення, що сприятливо позначиться на ефективності теплообміну між коксом і газом.

2.3 Експериментальні дослідження щодо можливості підвищення якості коксу на стадії сухого гасіння

Для визначення можливості підвищення якості коксу на стадії сухого гасіння проведено аналіз зарубіжної та вітчизняної літератури, зокрема, праць Афанасьєва А.С., Бородуліна А.В., Грязнова М.С., Гюльмалієва А.М., Давидзона Р.І., Єрьоміна І.В., Коновалової Ю.В., Копеліовича Л.В., Куруно-

ва І.Ф., Мучніка Д.А., Рудики В.І., Станкевича А.С., Сухорукова В.І., Сискова К.І., Теплитського М.Г., Харламповича Г.Д. тощо. Аналіз отриманої інформації показав високий потенціал енергозбереження в УСГК і підтвердив необхідність його реалізації.

Процес сухого гасіння коксу проводиться в атмосфері азоту чи інертних газів без доступу кисню. Цей спосіб передбачає вдування в камеру установки сухого гасіння коксу в якості охолоджуючого газу азоту чи інертних газів. Передбачається, що на цій стадії структура коксу стабілізується, переходячи до більш стабільного стану, що позитивно впливає на його міцні характеристики. Недоліком усіх використовуваних в даний час методів сухого гасіння коксу є те, що застосовані набори газів просто відводять тепло з поверхні коксу, а хімічна взаємодія їх з поверхнею коксу, що веде до підвищення іності коксу, при цьому не відбувається [6].

Виходячи з того, що:

- металургійний кокс приблизно на 90 % складається з вуглецю та на 5 % з водню та інших елементів (без обліку золи та вологи);
- спектр ядерно-магнітний резонанс коксу, складається із двох піків: інтенсивний, відповідний C_{AR} і слабкий відповідний C_{AL} , було припущено, що структура коксу складається в основному з графітоподібних, вуглецевих кластерів, утворених з атомів вуглецю у гібридному стані (C_{ar}) та атомів водню, св'язаних з периферійними атомами.

Пропонується у форкамеру УСГК (у зону високих температур) подавати природний газ. Враховуючи, що природний газ в основному складається з метану, то під дією високих температур у цій зоні відбувається наступне:

- відведення тепла внаслідок ендотермічної реакції розкладання метану;
- додаткове зміцнення коксу за рахунок зміни його структури: одержуваний в результаті реакції термічного розкладання метану вуглець, що виділяється при цій реакції, вбудовується в структуру коксу та «сшиває»

графітоподібні кластери коксу міцної хіміним зв'язком відповідно в бі-, три-і тетра-виробводні з виділенням водню, що призводить до зміцнення хімічні зв'язки. Внаслідок цього відбуваються структурні зміни в коксі за рахунок збільшення співвідношення C_{AL}/C_{AR} , що і призводить до зміцнення коксу.

Газоподібні продукти, отримані в результаті розпаду природного газу, відводяться через отвір у форкамері.

Подальше гасіння коксу здійснюється в шахті УСТК циркулюючими інертними газами. Зона подачі природного газу вища за зону відведення інертних газів.

Відведені з УСТК газоподібні продукти пропонується далі подавати в газохід і на вході їх допалювати з повітрям (киснем). Отримані продукти згоряння змішуються з циркулюючими інертними газами, що призводить до підвищення ентальпії потоку газів, які подаються в котел-утилізатор і, як наслідок, до збільшення кількості та параметрів пари, що виробляється в цій установці.

Авторами [15, 16] було проведено лабораторне дослідження запропонованого способу. Металургійний кокс із вагою 300 г і діаметром частинок 20 мм помістили в стендову установку (рис. 2.8). Згідно зі схемою стендової установки, трубкою з діаметром 8 мм у реактор подали природний газ зі швидкістю 0,1 м/с і продули установку спочатку без нагріву, щоб унеможливити взаємодію коксу з повітрям у разі підвищення температури, потім увімкнули нагрівання реактора. Поступово підняли температуру в установці до 950-1000 °С. За такої температури кокс продували природним газом дві години, після чого нагрівання вимкнули. Результати замірів міцності металургійного коксу до і після обробки метаном наведено в таблиці 2.1.

Як випливає з даних табл.2.1, після обробки коксу метаном величина гарячої міцності коксу CSR збільшується, а значення індексу реакційної здатності CRI зменшується.

Таблиця 2.1

Підвищення характеристик міцності коксу обробкою природним газом

Індекси міцності коксу	Значення до обробки метаном	Значення після обробки метаном	Δ параметра, %
CSR, %	49,7	55,8	6,1
CRI, %	32,9	29,4	-3,5

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [15]



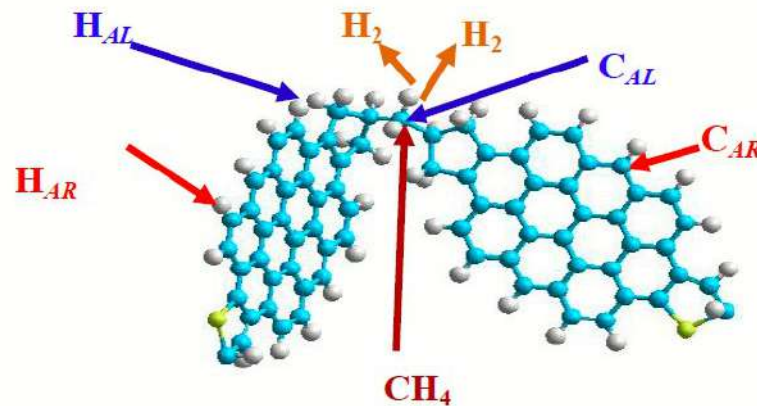
Рис. 2.8. Установка для експериментального дослідження

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [15]

Другу частину обробленого коксу дослідники використовували для визначення міцності коксу методом ядерно-магнітного резонансу (ЯМР). Підвищення міцності коксу було підтверджено дослідженням ЯМР ^1H спектрів зразків коксу до і після обробки природним газом.

Ці результати узгоджуються з фундаментальним уявленням про структуру вуглецевих матеріалів, згідно з яким вуглець має такі кристалічні форми як: алмаз, графіт і проміжні стани між ними (наприклад, кокс). Атоми вуглецю в кристалах алмазу й графіту відрізняються тим, що в алмазі вони ма-

ють тетраедричну гібридизацію, яку називають «алкільний вуглець (C_{AL})», а в графіті - тригональну гібридизацію, яку називають «ароматичний вуглець (C_{AR})» (рис. 2.9). У коксі атоми вуглецю мають і ту, й іншу гібридизацію, і чим більше в коксі атомів із тетраедричною гібридизацією, тим вища міцність коксу.



C_{AL} , H_{AL} – алкільний вуглець і водень;

C_{AR} , H_{AR} – ароматичний вуглець і водень

Рис. 2.9. Структура коксу молекулярна

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [17]

Міцність коксу визначається присутністю алкільних вуглеців. Ароматичні ж вуглеці утворюють графіто-подібну структуру, що складається з конденсованих ароматичних кілець, які мають нищу міцність. Алкільні вуглеці пов'язують окремі ароматичні кластери міцними С-С зв'язками. Чим більше в структурі коксу таких зв'язків, тим міцнішим він має бути. Отже, характеристики міцності металургійного коксу визначаються співвідношенням у його структурі двох форм вуглецю, які можна з високою точністю визначити спектроскопічними методами ядерно-магнітного резонансу [17]. Для вивчення коксів використовують методики ядерно-магнітного резонансу домінуючих елементів - ^{13}C і 1H . Зі спектра ядерно-магнітного резонансу ^{13}C і 1H отримують сукупність характеристик, що визначають усі властивості коксу. Сукупність складається з шести незалежних кількісних характеристик, що відпові-

дають вмісту атомів вуглецю і водню різного типу: алкільних і ароматичних - протонуваних і непротонуваних. Таких, що мають і не мають на цих атомах надлишкову електронну густину за рахунок парамагнітних центрів (ПМЦ). Спектр ядерно-магнітного резонансу (ЯМР) [17] коксу, отриманий під час дослідження коксу, складається з двох піків (рис. 2.10): інтенсивний, який відповідає C_{AR} , і слабкий, який відповідає C_{AL} .

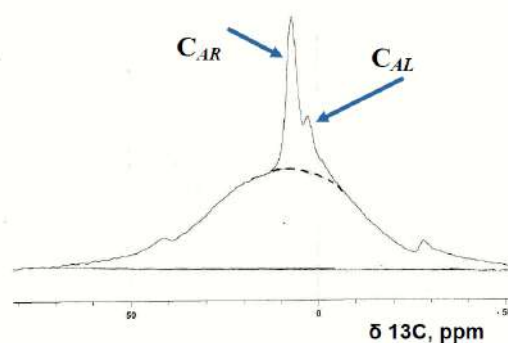


Рис. 2.10. Інтенсивність сигналу спектрів ароматичних і алкільних атомів вуглецю, при дослідженні коксу методом ядерно-магнітного резонансу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [17]

Проаналізував результати вимірювання міцності коксу та даних досліджень ядерно-магнітного резонансу спектрів зразків коксу було встановлено залежність [17] між реакційною здатністю коксу та інтенсивністю сигналу. Доведено, що в разі посилення інтегральної інтенсивності вузького сигналу H_{AL} у спектрі ЯМР $H-1$ MAS реакційна здатність коксу знижується і, отже, CSR збільшується. Проведені дослідження ЯМР $1H$ спектрів зразків коксу до і після обробки метаном показали, що гаряча міцність коксу зросла: згідно зі спектрами, в необробленому коксі кількість водню становила 1,09%, а в обробленому - 0,76 % [15]. Підвищення характеристик міцності коксу обробкою природним газом дає змогу зменшити витрату коксу в доменних печах і в такий спосіб знизити витрати енергії на виробництво чавуну, оскільки підвищення гарячої міцності коксу на 10 % призводить до зниження витрати коксу в доменних печах на 20 кг на кожну тонну чавуну [17].

2.4 Дослідження якості коксу сухого та мокрого гасіння

В існуючих сировинних умовах якість металургійного коксу може бути значно збільшена за рахунок раціоналізації післяпічної обробки його. В першу чергу це стосується методу гасіння коксу, що використовується на КХВ.

Аналіз результатів промислових і лабораторних випробувань металургійного коксу сухого та мокрого гасіння показує, спосіб гасіння має значний вплив на якість коксу. Проведеними дослідженнями [18] визначено, що якість коксу сухого гасіння відрізняється від коксу мокрого гасіння (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Якість коксу сухого і мокрого гасіння

Спосіб гасіння	Ситовий склад коксу (%) за класами, мм					Механічна міцність коксу, %	
	+80	80-60	60-40	40-25	-25	M ₂₅	M ₁₀
Кокс сухого гасіння	8,3	34,0	45,9	9,7	2,1	87,8	8,8
Кокс мокрого гасіння	11,8	36,0	41,1	8,7	2,4	85,5	9,9

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18]

Як видно з таблиці кокс сухого гасіння відрізняється поліпшеними показниками фізико-механічних властивостей. За результатами проведених випробувань коксу сухого та мокрого гасіння можна зробити наступні висновки [18]:

1. При сухому гасінні коксу його фізично-механічні властивості покращуються: показник міцності збільшився M₂₅ -2,3 %, а показник M₁₀ - зменшився на 1,1 %;
2. Кокс сухого гасіння характеризується більш високою рівномірністю гранулометричного складу;
3. Кокс сухого гасіння має значно більший опір стиранню, ніж кокс мокрого гасіння.

Це підтверджують дані авторів [18], отримані при вивченні властивостей коксів, погашених сухим і мокрим способами (табл. 2.3).

Бачимо, що кокс сухого гасіння містить менше класів >80 мм і <25 мм. Це пояснюється подрібненням та стиранням крупних класів при русі коксу у форкамерах і на валкових грохотах.

Таблиця 2.3

Вплив способу гасіння на гранулометричний склад та міцність коксу

Клас коксу, мм	Спосіб гасіння	Гранулометричний склад (%) за класами, мм					Міцність, %		Якість коксу, %			
		> 80	80-60	60-40	40-25	< 25	M_{40}	M_{10}	W_t^r	A^d	V^{daf}	S_t^d
> 60	Мокре	34,5	47,7	11,5	2,6	2,7	75,1	9,0	3,2	10,4	1,1	0,43
	Сухе	20,8	50,8	21,9	4,8	1,7	79,5	9,0	0,2	10,5	1,0	0,42
40-60	Мокре	-	24,0	66,3	7,6	2,1	75,1	7,8	2,87	10,4	1,0	0,42
	Сухе	-	21,2	72,5	5,0	1,3	77,2	7,9	0,2	10,4	1,0	0,41

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [18]

Із цієї причини відбувається незначне збільшення параметра M_{10} при сухому гасінні. При мокрому гасінні пилоподібні класи заповнюють пори, злипаються з крупними кусками. Міцність коксу сухого гасіння за параметром M_{40} для коксу класів >60 мм 40-60 мм у порівнянні з коксом мокрого гасіння покращена відповідно на 4,4 і 2,1 %. Отже, всі класи крупності коксу сухого гасіння мають більш високу механічну міцність та дробимість у порівнянні з міцністю таких же класів крупності коксу мокрого гасіння.

Показник реакційної здатності для коксу сухого гасіння нижче, ніж для коксу мокрого гасіння. Сухе гасіння впливає позитивно на показники якості коксу по міцності, гранулометричному складу та реакційній здатності, витримка коксу у форкамері при 1050 °C супроводжується змінами фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей, в результаті чого зменшується кількість крупних класів, зростає рівномірність по крупності, збільшується щільність коксу. Причини розходження реакційної здатності коксу сухого й мокрого гасіння можуть бути пояснені впливом наступних факторів:

- внаслідок витримки коксу в камері гасіння (у форкамері) вирівнюються температури, підвищується загальна готовність коксу (у результаті зменшення недопалу) [19];

- внаслідок руйнування кусків при проходженні коксу через камеру гасіння в дріб'язок переходить недопал, а також переходять шматки з ослабленою структурою, які характеризуються підвищеною реакційною здатністю [19];

- крім того, при мокрому гасінні коксу на поверхні кусків коксу й у порах можливі відкладення солей лужних металів, що приводить до підвищення реакційної здатності коксу.

Спільний вплив зазначених факторів і приводить до істотного розходження реакційної здатності коксу сухого й мокрого гасіння.

Таким чином, аналіз результатів промислових і лабораторних випробувань металургійного коксу сухого та мокрого гасіння показує, що сухе гасіння впливає благотворно на показники якості коксу по міцності, гранулометричному складу й реакційній здатності [19]. Основне значення має витримка коксу у форкамері при 1050 °С. Це явище супроводжується змінами фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей. Зменшується кількість великих класів, зростає рівномірність по крупності. У форкамері може відбуватися вирівнювання температур по довжині кусків коксу, дококсування можливого недопала, шматки якого характеризуються низькою механічною міцністю й підвищеною реакційною здатністю. Збільшується щільність коксу. Має значення також апаратурне оформлення процесу сухого гасіння - при проходженні коксу через камеру в процесі гасіння створюються умови для додаткової реалізації тріщин і руйнування найбільш слабких шматків коксу. У той же час при сухому гасінні створюється набагато менша внутрішня напруга в кусках коксу. Все це збільшує показники міцності коксу.

Перелічені тези підтверджують промислові дослідження Череповецького металургійного заводу за даними ВУХІНа представлені в таблиці 2.4 [19].

Таблиця 2.4

Якість коксу сухого та мокрого гасіння

Показники	Спосіб гасіння	
	мокрый	сухий
Технічний аналіз, %:		
W ^p	3,2	0,3
A ^c	10,5	10,4
V ^r	0,9	0,9
S ^c	0,53	0,53
Показники випробування у великому колошниковому барабані, кг:		
Залишок	334	343
Клас 0-10 мм у провалі	33	38
Показники випробування у малому колошниковому барабані, %:		
M ₄₀	73,6	79,3
M ₁₀	7,6	7,2
Склад, %, за класами, мм:		
Більше 80	11,8	8,5
60-80	36,0	34,9
40-60	41,1	44,8
25-40	8,7	9,5
0-25	2,4	2,3
Середня крупність, D _{сер.,мм}	53,4	52,8
Коефіцієнт однорідності по П.А. Щукіну	3,71	4,49
Показники газопроникності по К.И. Сискову	262	286
Реакційна здатність, мл/(г·с)	0,629	0,541
Дійсна густина, г/см ³	1,108	1,120
Пористість, %	41,6	41,3

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [7]

Як бачимо кокс сухого гасіння дає значно менший вихід дрібних класів (2,3 % класу 0-25 мм, а при мокрому гасінні 2,4 %) при випробуванні, тобто є більш стійким до стирання [7].

У таблиці 2.5 наведені дані зміни якості коксу, також отриманого з шихти Череповецького металургійного комбінату печі з шириною камери 450 мм при швидкості коксування 39,1 мм/год погашеної мокрим і сухим способом [7].

Таблиця 2.5

Якість коксу різного способу гасіння Череповецького металургійного комбінату

Характеристики коксу	Спосіб гасіння	
	Мокрий	Сухий
Технічний аналіз,		
W _t , %	0,8	0,3
A ^d , %	10,6	10,6
V ^{daf} , %	0,8	0,9
Склад (%), по класам, мм		
> 80	7,8	4,1
80-60	44,5	39,5
60-40	35,2	44,4
40-25	12,5	12,0
Середній розмір кусків, мм	59,8	57,4
Міцність (%), ДСТУ 5953-81		
M ₂₅	79,8	81,6
M ₁₀	13,8	10,4
Структурна міцність, %	71,0	78,6
Показники по К.І. Сискову:		
Міцність, кг·об/дм ³	5,15	6,50
Газопроникність	194	226
Електроопір, 10 ⁻⁴ Ом/м	1,861	1,585

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [7]

Як видно з наведених даних, кокс сухого гасіння має кращі показники якості:

- 1) знижується вміст крупних класів:
 - фракції +80 мм на 3,7 %,
 - класу 80-60 мм на 5,0 %.
 - класу 60-40 мм на 9,2 %;
- 2) знижується середній діаметр кусків з 59,8 мм при мокрому гасінні до 57,4 мм при сухому гасінні;
- 3) поліпшуються стандартні показники механічної міцності:
 - M₂₅ збільшується на 1,8 %: при мокрому гасінні 79,8 %, а при сухому 81,6 %;
 - M₁₀ знижується на 3,4 % (абс.) при мокрому гасінні 13,8 %, а при сухому 10,4 %;
- 4) підвищується структурна міцність на цілих 7,6 % абс. або на 10,7 % відносних.

5) зменшується питомий електроопір коксу сухого гасіння, що говорить про більшу впорядкованість структури цього коксу.

Поліпшуються й інші показники якості.

Можна додати, що при сухому гасінні підвищується однорідність по крупності кусків, знижується реакційна здатність коксу, дещо зростає істинна щільність і знижується пористість.

На Авдєєвському КХЗ [20, 21] проведені роботи з вивчення впливу часу витримання коксу у форкамері УСГК на властивості коксу (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Порівняльна характеристика коксу мокрого та сухого гасіння при різних режимах роботи УСГК

Режим роботи УСГК, піч/год	Час витримання коксу у форкамері УСГК, хвилини	Сиповий склад валового коксу, % за класами, мм					Випробування у малому барабані, % (ГОСТ 8929-58)		Середня крупність валового коксу, мм
		> 80	60-80	40-60	25-40	< 25	M ₄₀	M ₁₀	
Авдєєвський коксохімічний завод									
1	120								
	мокрый	12,2	31,1	40,4	11,3	5,0	76,1	6,4	57,8
	сухий	12,1	36,5	39,0	8,6	3,8	85,3	5,3	59,6
2	80								
	мокрый	8,4	31,8	41,5	13,3	5,0	76,1	7,7	56,2
	сухий	7,2	33,5	42,9	12,6	3,8	81,8	6,3	56,6
3	40								
	мокрый	9,9	35,7	39,6	9,5	5,3	78,6	6,8	57,9
	сухий	9,5	34,0	42,5	10,4	3,6	81,6	6,3	58,0
Череповецький металургійний завод									
2	80								
	мокрый	10,2	35,3	42,5	9,0	3,0	73,6	7,5	56,1
	сухий	8,3	34,0	45,9	9,7	2,1	79,8	7,0	56,5

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [21]

Данні таблиці 2.5 свідчать, що середня крупність коксу мокрого та сухого гасіння практично однакова [21]. У коксі сухого гасіння менше класу крупності < 25 мм, що вказує на меншу здатність цього коксу до стирання. Показник стираності M₁₀ меншим є для коксу сухого гасіння. Крім того показник M₁₀ сильно залежить від вологості коксу. Кожен процент вологи коксу (до 3 %) приводить до зниження показника M₁₀ на 0,5 % [21].

Показник міцності M_{40} при сухому гасінні вище, чим при мокрому гасінні. Також було визначено, що чим довше кокс залишався у форкамері УСГК, тим вище показник міцності M_{40} . За даними таблиці 2.6 побудовано графік залежності цього показника від часу витримки коксу у форкамері УСГК.

Графік залежності показника міцності M_{40} від часу перебування коксу у форкамері наведено на рисунку 2.11.

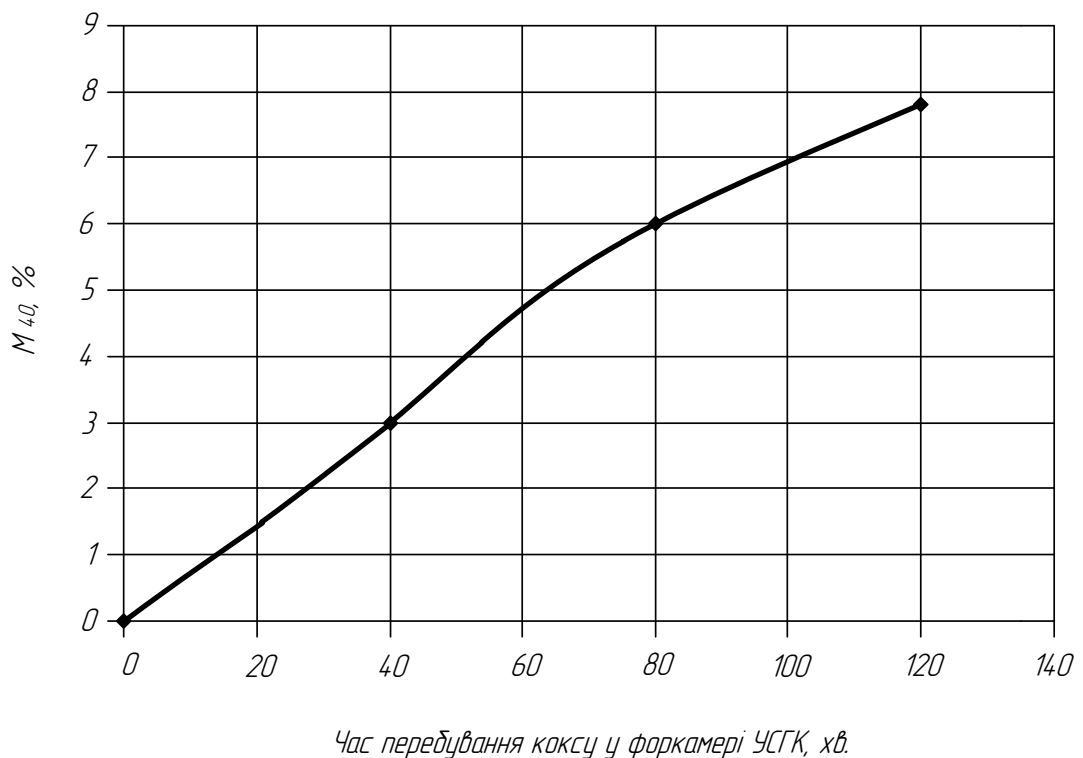


Рис. 2.11. Залежність міцності коксу від часу витримки в форкамері УСГК

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [7]

Як бачимо з графіка на рисунку 2.11, збільшення показника M_{40} на кожну годину перебування у форкамері складає 2,5 %. З двох коксів сухого гасіння, отриманих при режимах роботи камери УСГК 1 і 3 піч-год., кращим є кокс, що знаходиться у форкамері УСГК 120 хв.

Таким чином, часом витримки в форкамері і пояснюється відмінність фізико-механічних властивостей коксу сухого гасіння. При продуктивності УСГК 1 піч / год. кокс знаходиться при кінцевій температурі коксування бі-

льше 2 годин, а при режимі 3 печі / год. - менше 1 години. Тому в першому випадку ступінь завершеності формування молекулярної структури коксу буде значно вище, ніж у другому.

Таким чином, кокс сухого гасіння відрізняється поліпшеними показниками фізико-механічних властивостей (підвищена механічна міцність, зменшена старанність, рівномірна крупність, можливість більш чіткого відділення коксу від пилу), що є важливим не тільки для коксохімічного виробництва, а перш за все, для доменного виробництва. Унаслідок високої міцності кокс менше подрібнюється в доменних печах, а отже, і менше утворюється дріб'язку і пилу, знижується опір дугтю, поліпшуються умови плавки, збільшується продуктивність доменних печей і зменшується витрата коксу [21].

2.5 Розрахунок технологічного устаткування коксового цеху

Продуктивність коксового цеху 2000000 т на рік вугільної шихти або $2000000 \cdot 0,95 \cdot 0,773 = 1468700$ т на рік металургійного коксу.

Розрахунок необхідної кількості печей в коксовому цеху проводимо за формулою:

$$n = \frac{P_{\text{м.к.}} \cdot t}{365 \cdot 24 \cdot K \cdot A_{\text{в.к.}} \cdot V_{\text{к}} \cdot \gamma_{\text{ш}}^c} \quad (2.1)$$

де n – кількість печей в коксовому блоці;

$P_{\text{в.к.}}$ – задана продуктивність по металургійному коксу, 14687000 т/рік;

t - оборот печей, год. (приймаємо 22 год.);

K – вихід сухого валового коксу від сухої шихти;

$A_{\text{в.к.}}$ – вихід металургійного коксу;

$V_{\text{к}}$ – корисний об'єм камери, м³;

$\gamma_{\text{ш}}^c$ – насипна маса сухої шихти, т/м³ (приймаємо 0,773)

$$n = \frac{1468700 \cdot 22}{365 \cdot 24 \cdot 0,773 \cdot 35,4 \cdot 1,1} = 122 \text{ печі,}$$

Кількість комплектів обслуговуючих машин розрахуємо за формулою:

$$K = \frac{n \cdot t_{\text{обсл.}}}{60 \cdot \tau - t_{\text{ц}}}, \% \quad (2.2)$$

де n - кількість печей в блоці;

$t_{\text{обсл.}}$ - час, прийнятий на обслуговування однієї печі, хв.;

τ - період коксування, год. (21,8 год.);

$t_{\text{ц.}}$ - час на поточний ремонт у межах циклу.

Тоді

$$K = \frac{122 \cdot 12}{60 \cdot 21,8 - 120} = 1,2 \approx 2 \text{ комплекти.}$$

Для зручності компоновки та обслуговування приймаємо 2 комплекти обслуговуючих машин. Вважаючи, що кожна батарея обслуговується окремим комплектом машин приймаємо 2 батареї по 61 печі.

Також приймаємо 2 резервних комплекти обслуговуючих машин.

Приймаємо 2 електровози і 2 резервних.

Розрахунок ємності вугільної башти. Вугільна башта розміщується по осі коксових батарей і є бункерною спорудою, з якої коксові печі завантажуються вугільною шихтою за допомогою завантажувального вагону. Кожна вугільна башта розташовується між двома батареями.

Корисна місткість визначається добовою потребою коксового цеху у вугільній шихті:

$$Q = \frac{N \cdot n \cdot V_{\text{к}} \cdot \gamma \cdot 24}{t}, \% \quad (2.3)$$

де Q - добова потреба в шихті, т / доб.;

N - число батарей, шт.;

n - число печей в батареї, шт.,

$V_{\text{к}}$ - корисний об'єм камери коксування, м³;

γ - насипна маса шихти, т / м³;

t - час обороту печі, год.

$$Q = \frac{122 \cdot 35,4 \cdot 1,1 \cdot 24}{15} = 5182,6 \text{ т/добу.}$$

Приймаємо для проектування дві вугільні башти місткістю:

$$Q = \frac{2 \cdot Q_{\text{доб}}}{N_{\text{бат}}}, \quad (2.4)$$

$$Q = \frac{2 \cdot 5182,6}{2} = 5182,6 \text{ т}$$

Приймаємо для проектування одну вугільну башту ємністю 5200 т.

Приймаємо установку сухого гасіння коксу (УСГК) у зв'язку з такими перевагами:

- відсутністю викидів забруднюючих речовин в атмосферу;
- можливістю покриття потреб КХВ в парі та електроенергії за рахунок утилізації тепла розпеченого коксу;
- мінімальна вологість коксу;
- отримання більш однорідного коксу за крупністю;
- поліпшення якості коксу (покращуються показники механічної та «гарячої» міцності коксу) за рахунок відсутності різкого охолодження та додаткової витримки коксу у верхній частині УСГК.

Продуктивність однієї камери УСГК складає 1000-1250 т/добу.

Виходячи з продуктивності заводу, нам необхідно гасити:

$$P_{\text{в.к}} = 1468700 : 0,95 = 1546000 \text{ т/рік валового коксу.}$$

Кількість камер УСГК:

$$N_{\text{усгк}} = \frac{1546000}{1150 \cdot 365} = 3,7 \approx 4 \text{ камери}$$

Приймаємо для проектування 4 камери УСГК.

У коксортувалці проводиться сортування коксу за розмірами. Крупний металургійний кокс подається конвеєрами на металургійний завод або вантажиться у вагони. Дрібний, а іноді крупний кокс подається конвеєром в бункери, звідки проводиться його відвантаження. Основне устаткування коксортувалки складається зі стрічкових конвеєрів, валкових грохотів і жолобів. Продуктивність коксортувалки визначається за формулою:

$$Q_{\text{сорт.}} = \frac{n \cdot p \cdot t}{T \cdot k_2} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (2.5)$$

де n - число печей, шт;

p - разове завантаження сухої шихти в одну піч, т;

t - тривалість роботи коксового блоку, год/добу;

T - час обороту печей, год;

k_1 - коефіцієнт виходу сухого коксу з сухої шихти;

k_2 - коефіцієнт, що враховує вміст вологи в коксі після гасіння. Після сухого гасіння $W_K = 1,5\%$, тому $k_2 = 0,985$;

k_3 - коефіцієнт, що враховує підвищення продуктивності при форсованій роботі коксового блоку.

$$p = V_K \cdot \gamma = 35,4 \cdot 1,1 = 38,94$$

$$Q_{\text{сорт.}} = \frac{122 \cdot 38,94 \cdot 24}{22 \cdot 0,985} \cdot 0,773 \cdot 1,07 = 43,52 \frac{\text{т}}{\text{год}}$$

Продуктивність коксосортувалки 14-валкового грохоту складає 300 т / год., 10-валкового грохоту 175 т / год.

$$Q_{\text{сорт.}} = \frac{Q_{\text{сорт}}}{Q_{\text{грох.}}} \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{сорт.}} = \frac{4352}{24 \cdot 300} = 0,6$$

Виходячи з продуктивності коксосортувалки, передбачаємо установку одного 14-валкових грохота продуктивністю 300 т/год.

2.6 Економічне обґрунтування розроблених технологічних рішень

Для вдосконалення установки сухого гасіння коксу, з метою збільшення продуктивності камер з одночасним зменшенням негативного впливу на

довкілля запропоновано: змінити періодичне розвантаження коксу на безперервне; перенаправити газові потоки камер гасіння; впровадження в дію нової технологічної схеми роботи установки сухого гасіння коксу, яка повинна забезпечити: збільшення продуктивності камер УСГК з 50 до 52 т/год, при цьому вироблення пари збільшилося з 20 до 28 т/год; зниження "чаду" коксу з 1,0-1,5 % до 0,5-0,6 %; скорочення числа джерел забруднення атмосферного повітря; ліквідацію скидання шламової води з вентиляційних установок УСГК у кількості 25 м³/год; зменшення платежів за забруднення навколишнього середовища. В результаті впровадження даної установки сухого гасіння коксу показник M₂₅ підвищується на 2,3 %, показник M₁₀ знижується на 0,3 %, що призводить до зниження питомої витрати коксу в доменній плавці на 2,46 %, та зріст продуктивність печі на 2,46 % [10]. В таблиці 2.7 визначені чинники, що обумовлюють економічну доцільність дослідних рішень

Таблиця 2.7

Чинники, що обумовлюють економічну доцільність проектних рішень

Найменування показників, що змінюються внаслідок проектних рішень	Зміни (±)	Джерело інформації
	абсолютне	
Технологічні чинники, що змінюються: 1. Змінюється тип розвантаження коксу з періодичного на безперервний, що призводить до збільшення продуктивності камер УСГК 2. Знижується "чад" коксу	з 50 до 52 т/год; з 1,0-1,5 % до 0,5-0,6 %;	див. розділ 2.5
1. Ліквідовано скидання шламової води з вентиляційних установок УСГК 2. Збільшується вироблення пара	25 м ³ /год з 20 до 28 т/год	див. розділ 2.5
Додатково встановлюється обладнання: - барабанний живильник (1 шт.); - паровий ежектор (1 шт.)	300000 грн 1121000 грн.	Дані державної статистики Інтернет ресурс www.stat.gov.ua
Демонтується обладнання: - відсікач потоку (2 шт.) - затвори (2 шт.) - свіча форкамери та вентиляції (2 шт.)	40000 грн 40000 грн 100000 грн	

Примітка. Джерело: розроблено автором

2.7 Екологічні аспекти роботи коксового цеху КХВ та заходи по захисту навколишнього середовища

2.7.1 Основні шкідливості та небезпечні чинники в умовах коксового цеху

У хімічній промисловості існує безліч технологічних процесів, що включають небезпечні і шкідливі чинники виробництва. У коксовому цеху використовуються речовини, які можна віднести до небезпечних і шкідливих чинників:

1. Коксовий газ - помірно-небезпечна суміш речовин постійного складу. Провідним токсичним компонентом суміші є оксид вуглецю. Може викликати гострі та хронічні отруєння. Оксид вуглецю з'єднується з гемоглобіном крові, впливає на верхні дихальні шляхи. Вибухонебезпечний.

2. Вугільний пил (у бункерах вугільної башти) і коксовий пил (пил вуглецю кам'яновугільного коксу, який утворюється в процесі видачі готового коксового пирога), вугільний і коксовий пил не отруйні, але, викликаючи подразнення верхніх дихальних шляхів і тканин легенів, може при тривалому впливі стати причиною професійних захворювань. Вугільний пил є також вибухонебезпечним. Здатність вугільного пилу до загоряння залежить від концентрації його у повітрі, фізичного стану, хімічного складу, температури атмосфери та ін.

3. Смола - складна суміш ароматичних і гетероароматичних сполук, токсичність яких обумовлена токсичністю основних компонентів, що входять до складу, в т. ч. фенолом, піридином, нафталіном, аценафтенном, фенантронном, треном, бензпіреном і ін. Отруєння і шкірні захворювання можливі при прямому контакті з рідкою смолою та маслами, але можливі і при впливі парів.

4. Нафталін (осідає на стінках апаратів) - тверда кристалічна речовина з характерним запахом, у воді не розчиняється, добре розчиняється в бензолі,

ефірі. Швидко викликає головний біль, нудоту, блювоту, роздратування слизових оболонок дихальних шляхів і очей.

5. Висока температура на робочих місцях є наслідком виділення великої кількості тепла гарячими поверхнями печей. Джерелами виділення тепла є цегляна кладка, кришки і рами загрузочних люків, стояки і газозбірники. Середня температура повітря на робочому місці при температурі зовнішнього повітря $+ 17 \div 24$ °С, швидкості руху повітря 3 м/с досягає $+ 56 \div 61$ °С, а при температурі $+ 2 \div 5$ °С і швидкості руху повітря 2 м/с досягає $+ 24 \div 31$ °С. Висока температура і теплове випромінювання створюють тяжкі умови роботи, призводять до зниження продуктивності праці, підвищення стомлюваності, викликають посилене потовиділення, порушення водно-сольового обміну, підвищення температури тіла.

6. Шум і вібрація шкідливо відбиваються на здоров'ї працюючих і зменшують їхню працездатність. Вони стомлюють нервову систему людини, що в остаточному підсумку знижує продуктивність праці. Шум і вібрація в коксовому цеху викликаються роботою коксових машин, редукторів, грохотів і вентиляційних установок.

До небезпечних чинників також відносять відкриті обертові і рухомі частини верстатів, машин, механізмів, технологічного устаткування, будівель і споруджень, недостатня освітленість робочої зони, електрообладнання.

Незадовільне освітлення служить причиною травматизму, негативно впливає на зір працюючих і знижує продуктивність їхньої праці [22].

При функціонуванні устаткування небезпечними є: монтаж устаткування, пуск і налагодження устаткування, ремонт устаткування під час роботи цеху, що може привести до травмування всіх частин тіла, а саме до переломів, ушибів рук, ніг, травм голови (затягування одягу в частини устаткування, що обертаються, недбале поводження з робочими апаратами, падіння з висоти і т. п.). Шкідливі чинники коксового цеху наведені, із вказівкою класу безпеки, ГДК і фактичних значень, в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

Шкідливі чинники у коксовому цеху

№ п/ч	Назва шкідливого чинника	Клас небезпеки відповідно до ДСТУ 12.1.007	ГДК, ГДУ	Фактичне значення
1	Загазованність, мг/м ³ : - коксовий газ: CO HCN Фенол H ₂ S SO ₂ NO ₂	4 1 2 2 3 3	20,0 0,3 0,3 10,0 10,0 2,0	18,0 0,6 0,5 12,0 6,0 3,0
2	Запиленість, мг/м ³ вугільний пил зі вмістом: - оксиду кремнію (IV) до 10 % - коксовий пил	4 3	4,0 6,0	10,0 10,0
3	Рівень шуму, дБ (А)	-	80,0	88,0
4	Вібрація, дБ	-	92,0	55,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

За даними таблиці 2.8 можна зробити наступні висновки: складові коксового газу перевищують ГДК, крім CO; у коксовому цеху дуже висока запиленість; підвищена норма оксиду азоту у повітрі; фактичний рівень шуму на робочих місцях вище ГДУ; фактичні значення інших показників не перевищують норм. Тобто при роботі у коксовому цеху неможливо уникнути шкідливих і небезпечних чинників, однак можна зменшити їх шкідливий вплив до мінімуму.

2.7.2 Заходи щодо зниження шкідливостей та небезпечностей у коксовому цеху

Для зниження шкідливих і небезпечних чинників на даній ділянці підприємства проводяться різні технічні та технологічні заходи. Приймаються заходи щодо захисту від ураження електричним струмом, зменшення впливу шуму, вібрацій, надлишкового тепловиділення, електромагнітних та іонізуючих випромінювань, реалізації заходів з безпечного обслуговування

устаткування, технологічного процесу, огорожень небезпечних зон, видалення шкідливих речовин, запобігання вибухів, що відповідають вимогам нормативних актів з охорони праці.

Зниження травматизму, кількості виробничих неполадок і аварій, виконання працівниками вимог, правил, норм і інструкцій супроводжується ритмічною (безаварійною) роботою, підвищенням продуктивності праці, тобто в остаточному підсумку стан охорони праці та безпеки виробництва є одним з чинників, які впливають на виробничі та економічні показники роботи підрозділу і виробництва в цілому.

Для зниження впливу інтенсивності пиловиділення пропонується ліквідація викидів при завантаженні камер коксування шихтою (бездимне завантаження) і при видачі коксу (безпилова видача коксу), очищення газів на установці мокрогасіння коксу, герметизація устаткування, очищення вентиляційних викидів від пилу.

Для зниження шуму та вібрації передбачається застосування ізоляційних пристроїв. Фундаменти устаткування повинні мати повстяні прокладки або прокладки з литої гуми.

Безпека роботи в коксовому цеху забезпечується установкою захисних огорожень біля обертових частин устаткування і систематичною перевіркою їхнього стану; заземленням устаткування; застосуванням захисних засобів від дії струму - дерев'яних помостів, гумових килимків і рукавичок. Для випуску в атмосферу надлишків очищеного коксового газу повинен бути встановлений спеціальний газозбірний пристрій, що автоматично включається при підвищенні тиску в газопроводі вище заданого.

Нові газозбірні пристрої для коксового газу повинні бути обладнані засобами його запалення.

Свічки на газозбірниках коксових батарей, що знов будуються і реконструюються, повинні бути розраховані на забезпечення тиску не вище 250 Па, які при повному припиненні відсмоктування, автоматично відкриваються

при перевищенні вказаного тиску. На всіх батареях висота газозбірних свічок повинна бути не менше 4 м від майданчика обслуговування газозбірника.

Пристрої каналів і газопроводів повинні відповідати вимогам Правил безпеки в газовому господарстві заводів чорної металургії. Ремонти газопроводів необхідно проводити тільки після знімання плит перекриття. На газопроводах батарей для їх відключення повинні бути встановлені затвори і передбачена можливість установки заглушок після них по ходу газу.

Передбачається забезпечення нормативної освітленості цеху, достатньої за величиною і рівномірністю без утворення різких контрастів освітленості і тіней.

До небезпечних і шкідливих чинників, які можуть впливати на людей у результаті пожежі і вибуху в коксовому цеху відносяться: полум'я, ударна хвиля, обвалення устаткування, споруджень, комунікацій. При цьому треба мати на увазі, що безпека людей повинна бути забезпечена при виникненні пожежі в будь-якому місці цеху, як у його робочому стані так і в аварійній ситуації. Джерелами запалення можуть бути: відкритий вогонь технологічних установок, розпечені або нагріті частини апаратів і устаткування, іскри електроустаткування, статична електрика, іскри при ударах і терті деталей машин та механізмів. Джерела запалення можуть виникнути при порушенні правил пожежної безпеки та технологічного режиму роботи коксового цеху.

Таким чином, запропоновано розташування не менш двох евакуаційних виходів з будівель і споруджень (крім випадків, обговорених СНП II-М.2-72). Установка зовнішніх металевих сходів для евакуації шириною не менш 0,7 м з нахилом не більше 1:1. Установка спеціальної електричної пожежної сигналізації (ЕПС) для повідомлення пожежних підрозділів про виникнення пожежі. Розташування пожежних гідрантів уздовж доріг і проїздів на відстані не більше 150 м один від одного, не менш 5 м від стін будівель і не більше 2,5 м від краю проїзної частини дороги.

Впроваджені заходи з оснащення систем керування електроустаткуванням автоматами максимального струмового захисту і плавких запобіжників,

оснастити головні двигуни електроприводів системою замкнутої примусової вентиляції з очищенням повітря від щіткового пилу та охолодженням двигунів. Трансформаторні кіоски винесені за межі виробничого приміщення.

Як засоби первинного пожежогасіння в цеху передбачені вогнегасники (повітряно-пінні, вуглекислотні, порошкові). Для гасіння пожеж застосовується також повітряно-механічна піна, що утворюється в піноутворювачі шляхом змішування 90 % повітря, 9,6 % води і 0,4 % піно-порошка. Застосовується для гасіння пожеж дерева, рідини і металів. Інертні гази C_2 , N_2 і водяна пара - знижують вміст кисню в повітрі, чим припиняють горіння. Також для гасіння пожеж застосовують тверді і рідкі вогнегасні речовини:

- тверді - пісок, земля, тальк, які використовують для гасіння пожеж, що не піддаються гасінню водою;
- рідкі - розчини різних солей [19].

Для пожежогасіння застосовують лопати, сокири, лопати та інший інвентар. Пожежний інвентар повинен перебувати на вході або поблизу приміщення на спеціальних щитах, так щоб у випадку виникнення пожежі ними можна було скористатися.

Пожежні щити встановлюються на території цеху з розрахунку один щит на 5000 м². До комплекту щита входять: вогнегасники (3 шт.), ящики з піском (1 шт.), покривало з матеріалу, що не горить (1 шт.), багри (2 шт.), лопати (2 шт.), лопати (2 шт.), сокири (2 шт.). Всього для 8 щитів необхідно: вогнегасники (24 шт.), ящики з піском (8 шт.), покривало з матеріалу, що не горить (8 шт.), багри (16 шт.), лопати (16 шт.), лопати (16 шт.), сокири (16 шт.).

2.7.3 Вплив технології сухого гасіння коксу на навколишнє середовище

Незважаючи на широке поширення установок сухого гасіння коксу, екологічна сторона процесу вивчена недостатньо. Одиничні виміри, що про-

водяться органами контролю і нагляду, формують негативну думку про екологічність процесу в цілому [9].

При сухому гасінні коксу основними джерелами антропогенної дії є:

- завантаження коксу в камеру;
- скидка свічка після димососа;
- свічка форкамери;
- свічка вентиляційної системи розвантаження коксу;
- вода системи промивання вентиляційних газів з розвантажувальних

пристроїв.

До організованих викидів і скидань відносять [9] ті, які відводяться від місця їх утворення системою газопроводів і трубопроводів, що дозволяє виміряти параметри цих викидів і використати для очищення спеціальні установки і очисні споруди. До організованих викидів можна віднести: технологічні, такі, що, як правило, мають високі концентрації шкідливих речовин, але малі за об'ємом, і вентиляційні, такі, що мають невисокі концентрації, але дуже значні за об'ємом.

Ще одним джерелом антропогенної дії служить скидання води системи промивання вентиляційних газів розвантажувальних облаштувань камер УСГК. Для виключення проникнення токсичного циркулюючого газу в приміщення галерей передбачена витяжна вентиляція від розвантажувальних пристроїв. Забруднений пилом і циркуляційними газами повітря від розвантажувальних пристроїв УСГК видаляють витяжною вентиляцією і перед викидом в атмосферу піддають сухому і мокрому очищенню.

Нормативна витрата води на очищення 1000 м³ газового потоку складає ~0,5 м³ [10]. Технологічний регламент роботи установки сухого гасіння передбачає роботу двох камер УСГК, при цьому витрата води на очищення забрудненого повітря від кожної камери складала 12-13 м³/год.

Встановлено, що шламова вода містить значну кількість зважених речовин, в середньому 8 г/дм³. Крім того, вона забруднена і хімічними компонентами: фенолами, роданідами і ціанідами, концентрації яких на чотири -

п'ять порядків нижчі, ніж твердих часток, але проте перевищують у декілька разів їх гранично допустимі концентрації для водойм рибогосподарського призначення, що перешкоджає скиданню шламових вод в річку після відстоювання від суспензій. Важливим аспектом експлуатації УСГК, який не можна не враховувати, являється безпека її експлуатації. Згідно з технологічним регламентом УСГК, одним із заходів, що дозволяють підвищити вибухобезпечність установки, а також захист повітряного басейну від забруднення токсичними газами, видається подання повітря на допалювання газу в кільцевий канал і доведення вмісту оксиду вуглецю до мінімальних величин 2-3 %. Подання повітря здійснюється в кільцевий канал камери-накопичувача і регулюється діафрагмами, що вставляються в гнізда корпусу оглядового лючка.

Аналіз роботи у вказаному режимі показує, що вміст оксиду вуглецю в циркулюючому газі знижується з 10-12 % до 1-2 %, при цьому трохи збільшується кількість циркуляційного газу, що скидається. Проте в цілому спостерігається зниження питомого викиду оксиду вуглецю в 2-3 рази на тону загашеного коксу. З іншого боку, при цьому зростає "чад" коксу до 1,5 %, що веде до втрати продукції. Таким чином, таке глибоке допалювання з точки зору охорони атмосферного повітря позитивно, проте веде до втрати продукції.

Таким чином, в даному розділі були розглянуті основні вимоги до охорони праці в коксовому цеху.

ВИСНОВКИ

У випускній роботі досліджено технології гасіння коксу з метою покращення якості коксу.

В аналітичній частині проаналізовано технології мокрого гасіння коксу, імпульсного, комбінованого охолодження коксу водяними парами й циклічною подачею води; безперервного гасіння коксу; комбінованого мокрого і сухого гасіння та сухого гасіння коксу. Визначені їх переваги та недоліки.

Визначені недоліки процесу мокрого гасіння, які полягають в наступному:

- великі втрати тепла з гарячим коксом. Ці втрати складають приблизно 40-45 % від загальних витрат тепла на проведення процесу коксування;
- значні витрати електроенергії на зрошування коксу водою;
- пари води, що виділяються при гасінні коксу, містять в собі різні агресивні компоненти, які викликають посилену корозію металевих конструкцій поблизу гасильної башти і забруднюють атмосферу;
- в результаті швидкого випаровування вологи при зрошуванні коксу водою відбувається додаткове утворення тріщин в коксі, що позначається на його гранулометричному складі;
- дрібні фракції коксу містять значну кількість вологи (до 12-15 %), що ускладнює їх грохочення і можливість ефективного використання.

На підставі аналізу існуючих технологій гасіння коксу вибрали технологію сухого гасіння коксу, як таку, що покращує якість коксу та техніко-економічні показники виробництва.

Запропонована до впровадження схема установки сухого гасіння коксу бункерного типу, яка відрізняється тим, що охолоджувальний агент збагачують паливом або повітрям перед подачею в котел-утилізатор.

Проведений аналіз показників якості сухого гасіння коксу в порівнянні з коксом мокрого гасіння, з якого встановлено, що витрата коксу в доменних

печах при переході на кокс сухого гасіння знижується на 5-7 %, чим при використанні коксу згашеного мокрим способом.

Так, для коксу сухого гасіння показник M_{40} в середньому на 5 % вище, а стиранисть його по M_{10} на 0,5 % нижче, ніж коксу мокрого гасіння.

В результаті проведених розрахунків визначено наступне:

- обрано печі з нижнім підведенням тепла конструкції Гіпрококсу з об'ємом камери 35,5 м³;

- для отримання 2400 тис. тон валового коксу на рік необхідно 189 камер коксування, 4 батареї по 56 печі в кожній, 4 комплекти коксових машин, вважаючи, що кожна батарея обслуговується окремим комплектом машин, та один резервний комплект;

- приймаємо для проектування 6 камери УСГК.

Приймаємо установку сухого гасіння коксу (УСГК) у зв'язку з такими перевагами:

- відсутністю викидів забруднюючих речовин в атмосферу;
- можливістю покриття потреб КХВ в парі та електроенергії за рахунок утилізації тепла розпеченого коксу;

- мінімальна вологість коксу;

- отримання більш однорідного коксу за крупністю;

- покращуються показники механічної та «гарячої» міцності коксу за рахунок відсутності різкого охолодження та додаткової витримки коксу у верхній частині УСГК:

- показник міцності M_{25} збільшився з 85,5 до 87,8 % на 2,3 %;

- показник M_{10} зменшився 9,9 до 8,8 % на 1,1 %.

В розділі випускної роботи «Охорона праці» розглянуті основні шкідливі й небезпечні фактори діючі в умовах коксового цеху. Запропоновані заходи щодо зниження рівня цих факторів. Узагальнені питання пожежної профілактики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Альмусин Г.Т., Абдикапар А.Н. Выбор эффективного способа тушения кокса с целью повышения его прочности. Молодой ученый. 2017. № 51 (185). С. 33-35.
2. Грязнов Н.С. Основы теории коксования. 1976. М.: Metallurgy, 311 с.
3. Харлампович Г.Д., Кауфман А.А. Технология коксохимического производства. 1995. М.: Metallurgy, 384 с.
4. Теплитский М.Г., Гордон Н.А. Сухое тушение кокса. 1971. М.: Metallurgy, 264 с.
5. Мучник Д.А., Постольник Ю.С. Теория и практика охлаждения кокса. К.:Донецк: Вища школа, 1979. 160 с.
6. Давинзон Р.И. Мастер установки сухого тушения кокса. М.: Metallurgy, 1980. 124 с.
7. Мучник Д.А., Бабанин В.И., Загайнов В.С. Возможности улучшения качества кокса вне печной камеры. Учебник для вузов. Е.: Знание, 2011. 233 с.
8. Справочник коксохимика. В 6-и томах. Т. 2. Производство кокса / Под общ. ред. Ю.Е. Зингермана. Х.: Издательский Дом «ИНЖЭК», 2014. 728 с.
9. Ткачев В.С., Остапенко М. А. Оборудование коксохимических заводов.- М.: Metallurgy, 1983. 292 с.
10. Голубев А.В., Збыковский Е.И. Совершенствование сухого тушения кокса – эффективная энергосберегающая технология. *Экологические проблемы индустриальных мегаполисов: сборник трудов международной научно-практической конференции*. Донецк, ДонНТУ Министерства образования и науки Украины, 2010. 247 с.
11. Гураль В.В., Кривонос В. В., Рудыка В. И. Производство металлургического кокса на базе трамбования шихты и сухого тушения - эффективная экологически чистая и энергосберегающая технология. *Кокс и химия*. 2008. № 8. С. 23-31.
12. Старовойт А.Г., Анисимов В.А., Гончаров В.Ф. Кинетика движения и харак-

- тер охлаждения кокса в камере УСТК. *Кокс и химия*. 1990. №3. С. 9-10.
13. Пат. 47484 Україна, МПК (2006) С10 В39/02. Камера сухого гасіння коксу. № u200907232. Заявл. 10.07.2009; Опубл. 10.02.2010, бюл. № 3. 3 с.
14. Голубев А.В., Гребенюк А.Ф. Разработка устройства для распределения потоков кокса и газа в камере сухого тушения кокса. *Углекислотный журнал*. 2009. № 5-6. С. 48-54.
15. Бологова В.В., Султангузин И.А., Гюльмалиев А.М. Об одном из способов повышения качества кокса в установке сухого тушения кокса. *Кокс и химия*. 2011. № 10. С.12-17.
16. Бологова В.В., Султангузин И.А., Гюльмалиев А.М. Повышение качества кокса при обработке его природным газом в УСТК. Материалы V-ой Международной научно-практической конференции «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология. Безопасность технологических процессов». М.: Издательство МИСиС. 2010. С. 29-35.
17. Карунова Е.В. Прогноз качества металлургического кокса на основе его физико-химических показателей: дис. канд. техн. наук: 05.17.07. 2011. 125 с.
18. Зубицкий Б.Д., Дьяков С.Н. Реконструкция УСТК ОАО «Кокс». *Кокс и химия*. 2014. № 2. С. 35-39.
19. Теплитский М.Г. и др. Сухое тушение кокса, М.: Металлургия, 1971. 228 с.
20. Давидзон Р.И. Мастер установки сухого тушения кокса. М.: Металлургия, 1980. 124с.
21. Складар, М.Г. Интенсификация коксования и качества кокса. М.: Металлургия, 1976. 256 с.
22. Шеремет В.О., Каракаш О.І., Маранчук В.Ф. Довідниковий посібник керівника та спеціаліста гірничо-металургійного підприємства з охорони праці: навч. посіб. Дніпропетровськ: ПП Ліра ЛТД, 2005. 653 с.

ДОДАТКИ

Звіт подібності

Метадані

Заголовок

Бельченко Катерина

Автор

Бельченко Катерина

Науковий керівник / Експерт

ДУЕТ

Підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про **МОЖЛИВІ** маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		24
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		200

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2



12175

Кількість слів

88414

Кількість символів

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=794559	276	2.27 %
2	https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=794559	216	1.77 %
3	https://knowledge.albest.ru/manufacture/2c0a65635a2bd79b5c53a89421316c27_0.html	186	1.53 %
4	https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=794559	157	1.29 %
5	https://knowledge.albest.ru/manufacture/2c0a65635a2bd79b5c53a89421316c27_0.html	131	1.08 %
6	https://myreferat.in.ua/work/8149612/suhe-gasinna-koksu	84	0.69 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача вищої освіти

Бельченко Катерини Миколаївни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(шифр, назва)

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна магістерська робота

Тема кваліфікаційної роботи «Застосування установок сухого гасіння коксу з метою підвищення його якості та енергозбереження»

Керівник кваліфікаційної роботи: к.х.н., доцент Кормер М.В.

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Кормер М.В.	^{15/15} зараховано	15.01.25	Кормер	
2	Основна частина	Кормер М.В.	^{15/15} зараховано	15.01.25	Кормер	
3						
4						

Завідувач кафедри

Elluf
(підпис)

Шмельцер К.О.

(ініціали, прізвище)

« 15 » 01 2025 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
 НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
 Кафедра Хімічних технологій та інженерії

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ
 РОБОТУ**

Здобувача вищої освіти Бельченко Катерини Миколаївни
 (прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-23м

Тема кваліфікаційної магістерської роботи: «Застосування установок сухого гасіння коксу з метою підвищення його якості та енергозбереження»

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>73 стор.;</u>
таблиць	<u>10;</u>
схем і рисунків	<u>17;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

Якісні відмінності магістерської кваліфікаційної роботи:

Кваліфікаційна робота магістра виконано на актуальну тему.

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена підвищенню якості металургійного коксу та енергозбереження при використанні сухого гасіння. Досліджено основні технологічні аспекти експлуатації установок гасіння коксу, їх переваги та недоліки. На підставі аналізу технологічних та екологічних аспектів роботи установок мокрого гасіння, встановлено, що метод сухого гасіння коксу є альтернативою мокрому гасінню, з метою утилізації тепла гарячого коксу та ліквідації викидів шкідливих речовин в атмосферу та значно покращити якість коксу за показниками M_{25} та M_{10} та знизити його вологість. Запропоновано: змінити періодичне розвантаження коксу на безперервне; перенаправити газові потоки камер гасіння; впровадження в дію нової технологічної схеми роботи установки сухого гасіння коксу, яка повинна забезпечити: збільшення продуктивності камер УСГК з 50 до 52 т/год, при цьому вироблення пари збільшилося з 20 до 28 т/год; зниження "чаду" коксу з 1,0-1,5 % до 0,5-0,6 %; скорочення числа джерел забруднення атмосферного повітря; ліквідацію скидання шламової води з вентиляційних установок УСГК у кількості 25 м³/год; зменшення платежів за забруднення навколишнього середовища. В результаті впровадження даної установки сухого гасіння коксу показник M_{25} підвищується на 2,3 %, показник M_{10} знижується на 0,3 %, що призводить до зниження питомої витрати коксу в доменній плавці на 2,46 %, та зріст продуктивність печі на 2,46 %.

Недоліки кваліфікаційної магістерської роботи

До недоліків дипломної роботи слід віднести недостатньо повно розкрито питання економічної доцільності даної технології. Присутні стилістичні помилки у технічній термінології.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи магістра, ступінь самостійності виконання,
Під час роботи над кваліфікаційною роботою здобувачем зроблений глибокий аналіз існуючих літературних джерел, зроблені необхідні висновки, проаналізовано вплив різних факторів на процес алкілування.

Здобувач Бельченко К.М. продемонструвала хороші аналітичні здібності, вміння аналізувати і систематизувати зібрану інформацію, а також робити самостійні висновки, пропозиції та узагальнення.

Графік виконання роботи дотримувався неухильно

Можливість використання кваліфікаційної магістерської роботи

Робота відповідає вимогам, що висувуються до кваліфікаційних робіт на другому (магістерському) освітньо-кваліфікаційному рівні може бути допущена до захисту на засіданні ЕК.

Оцінка кваліфікаційної магістерської роботи _____

Керівник Кормер Марина Віталіївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.хім.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Кормер
(підпис)

« 15 » 01 2025 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Хімічних технологій та інженерії

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну магістерську роботу

Здобувача вищої освіти Бельченко Катерини Миколаївни
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-23м	
Тема кваліфікаційної магістерської роботи	Застосування установок сухого гасіння коксу з метою підвищення його якості та енергозбереження
Тема спеціальної частини кваліфікаційної магістерської роботи	Застосування установок сухого гасіння коксу з метою підвищення його якості та енергозбереження
Переваги кваліфікаційної магістерської роботи	Кваліфікаційна робота магістра виконана на актуальну тему та на високому технічному рівні. Робота виконана в повному обсязі, цілісно з використанням сучасних інформаційних технологій, зручності та електронних джерел інформації. Автор роботи має рівень професійної підготовки, який відповідає вимогам магістра. Проведені експериментальні дослідження щодо можливості підвищення якості коксу на стадії сухого гасіння.
Недоліки кваліфікаційної магістерської роботи	До недоліків дипломної роботи слід віднести недостатньо повно розкрито питання економічної доцільності даної технології. Присутні стилістичні помилки у технічній термінології.
Рекомендації:	Результати роботи варто розглянути як базові для подальшої розробки запропонованої теми
Рецензент	<u>Геска Наталія Анатоліївна</u> (прізвище, ім'я та по-батькові)

доцент, к.т.н. доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Геска
(підпис)

Д О В І Д К А
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
 навчальної/наукової праці;
 наукових матеріалів

«Застосування установок сухого гасіння коксу з метою підвищення його якості та енергозбереження»

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Бельченко Катерини Миколаївни

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 73 сторінка друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrikePlagiarizm.com».

Рівень оригінальності становить 20,60 % (КП 1)

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- власними публікаціями;
 термінологією;
 посиланнями на літературу, праці вчених;
 посиланнями на законодавство;
 загальноживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК
 (подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «14» січня 2025 р. протокол № 8.

Керівник підрозділу


 (підпис)

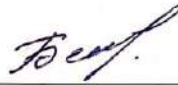
К. Шмельцер

Дата «14» січня 2025 р.

Декларація
про дотримання академічної доброчесності
під час написання курсової/кваліфікаційної роботи
здобувачем вищої освіти
Державного університету економіки і технологій

Я, Бельченко Катерина Миколаївна, здобувач II курсу, групи ЗХТ-23м Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавала і не одержувала заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

14.01.2025



К.БЕЛЬЧЕНКО