

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ**

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Іонова Юлія Володимирівна

на тему Розробка технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження

за матеріалами КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

науковий керівник к.х.н., доцент

_____ Кормер М.В.
(підпис)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри
від 12.06.2026 р. №16

Завідувач кафедри

(підпис)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Хімічних технологій та інженерії

(підпис) доцент, к.т.н.
Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання ,
прізвище, ініціали)
«06» _квітня_____ 2026_ року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Іонової Юлії Володимирівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Розробка технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Кормер Марина Віталіївна, к.х.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу №228-ст від «6» квітня 2026 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2024

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра Техніко-економічні показники роботи КХВ ПАТ «АМКР»

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

4.1 Аналітична частина: Особливості формування сировинної бази коксування КХВ ПАТ «АМКР» з урахуванням сучасних вимог доменної плавки. Новітні технології підготовки вугільної шихти до коксування та інтенсифікація в умовах поширення сировинної вугільної бази.

4.2 Основна частина: Технологічний процес спільного здійснення термічної підготовки шихти і гасіння коксу. Технологічний процес спільного здійснення термічної підготовки шихти і гасіння коксу на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Порівняльна характеристика якісних показників вологої шихти та термічно-підготовленої шихти. Якісні показники коксу з термічно - підготовленої шихти. Завантаження коксових камер термічно підготовленою шихтою.

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		
2 Основна частина	Кормер М.В., доцент		

7. Дата видачі завдання «6» квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.25	
2.	Основна частина	26.05.25	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.05.25	
4.	Подання роботи до кафедри	01.06.2025	
5.	Захист роботи в ЕК	17.06.2025	

Здобувач

(підпис)

Іонова Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Кормер М.В.

(прізвище та ініціали)

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

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Іонова Ю.В. Розробка технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Державний університет економіки і технологій. Кривий Ріг, 2026.

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження.

Об'єктом дослідження є процес підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження.

Предметом дослідження є технологічні параметри підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження.

Метою даної бакалаврської роботи є дослідження та розробка технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження

Визначено вплив технології на якісні показники коксу та на процес коксування взагалі. Переваги цієї технології полягають у можливості підвищення продуктивності коксових печей і поліпшення якості металургійного коксу.

Ключові слова: термічна підготовка, охолодження, доменний кокс, термоудар, твердий теплоносіє, якість коксу

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Новітні технології підготовки вугільної шихти до коксування та інтенсифікація в умовах поширення сировинної вугільної бази	10
1.2 Теоретичні основи термічної підготовки вугілля і гасіння коксу	14
1.2.1 Термічна підготовка шихти твердим теплоносієм	14
1.2.2 Термічна підготовки шихти газовим теплоносієм	16
1.3 Аналіз впливу технологічного процесу термічної підготовки вугілля на навколишнє середовище	19
1.4 Аналіз стану та зміни вугільної сировинної бази України	23
1.4.1 Структура вугільної сировинної бази в умовах воєнного стану	23
1.4.2. Особливості забезпечення вугільною сировиною ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	24
1.5 Висновки до аналітичної частини	26
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	28
2.1 Технологічний процес спільного здійснення термічної підготовки шихти і гасіння коксу	28
2.1.1 Особливості проведення технологічного процесу	31
2.1.2 Технологічний процес спільного здійснення термічної підготовки шихти і гасіння коксу на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	35
2.1.3 Дослідження ефективності технологічного процесу спільного здійснення термічної підготовки шихти і гасіння коксу	39
2.2 Порівняльна характеристика якісних показників вологої шихти та термічно-підготовленої шихти	42
2.3 Якісні показники коксу з термічно - підготовленої шихти	43
2.4 Завантаження коксових камер термічно підготовленою шихтою	44
2.5 Заходи із охорони праці та безпеки життєдіяльності	48

2.5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників	48
2.5.2 Заходи щодо зниження інтенсивності впливу шкідливих і небезпечних факторів на установці термічної підготовки вугільної шихти та гасіння коксу	51
2.5.3 Пожежна безпека	52
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

ВСТУП

Прогрес у технології доменного виробництва вимагає нові підвищені вимоги до якості коксу й, у першу чергу до його фізико-механічних властивостей. Разом з тим перспектива поліпшення якості коксу на коксохімічних підприємствах України значно ускладнена погіршенням характеристики вугілля, яке направляється на коксування. Так на коксохімічних виробництвах України, в останні роки, помітно понизилася спікливість шихт за рахунок зменшення в них частки жирного та коксового і збільшення газового вугілля [1].

Марочний склад і властивості шихти є головними факторами, які визначають фізико-механічні властивості коксу. В наш час спостерігається погіршення сировинної бази та необхідність залучати до складу вугільної шихти для коксування погано спікливе газове вугілля в тому числі Донецького басейну. Варіювання складом шихти в умовах сировинної бази коксування, яка погіршується, стає малоефективним, а часті перешихтовки в рамках наявної вугільної бази коксування не поліпшують якість коксу, а найчастіше приводять до високих коливань показників його якості. Наслідком цього є нестабільний тепловий режим доменних печей і перевитрата коксу, тому що технологи доменних цехів змушені працювати із завищеним показником вмісту кремнію в чавуні, щоб не допустити миттєве охолодження печей [2]. Поліпшення якості коксу відповідно до сучасних вимог доменного виробництва повинне сприяти зниженню його питомої витрати при виробництві чавуну й тим самим зменшенню гострого дефіциту в цьому найважливішому продукті. Крім того, треба враховувати, що в собівартості чавуну вартість коксу становить значну частину (до 50 %) [3].

Відомо, що в собівартості коксу більше 90 % доводиться на частку вугілля. Це обставина, а також виснаження ресурсів коксівного вугілля, приводять до необхідності залучення до складу шихт більш дешевого. Тому, науково-дослідні колективи вирішують питання вдосконалення технології

підготовки вугілля у нових умовах у наступних напрямках: розробка більше вдосконалених технологічних схем: збільшення насипної щільності вугільних шихт шляхом брикетування, трамбування, виробництво формованого коксу й попередня термічна підготовка та інші [1]. В умовах виснаження запасів і росту дефіциту коксівного вугілля процес термічної підготовки вугільної шихти являє собою один з реальних шляхів рішення проблеми розширення сировинної бази коксування. Термічна підготовка вугільної шихти перед коксуванням може служити діючим засобом рішення основних проблем коксового виробництва й підвищення його економічної ефективності, оскільки дозволяє істотно поліпшити якість коксу, розширити сировинну базу коксування й збільшити продуктивність коксових батарей. У роботі представлена технологія термічної підготовки шихти гарячим кусковим коксом. Її відмінною рисою є спільне здійснення термічної підготовки вугільної шихти й гасіння коксу шляхом прямого прямоточного теплообміну між вугільною шихтою й гарячим кусковим коксом. Завдяки впровадженню термічної підготовки шихти стає можливим збільшення продуктивності коксових батарей і виходу металургійного коксу.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Новітні технології підготовки вугільної шихти до коксування та інтенсифікація в умовах поширення сировинної вугільної бази

Удосконалювання існуючої та створення нової технології підготовки вугілля для коксування включає комплекс заходів і технічних прийомів, основними з яких є впровадження новітніх технологій збагачення вугілля, раціональне складання вугільних шихт, оптимальні ступінь і умови подрібнення вугілля, збільшення щільності вугільного завантаження, сушіння й попереднє нагрівання перед коксуванням і інші [1].

Прогрес у технології доменного виробництва вимагає нові підвищені вимоги до якості коксу й, у першу чергу до його фізико-механічних властивостей. Разом з тим перспектива поліпшення якості коксу на коксохімічних підприємствах України значно ускладнена погіршенням характеристики вугілля, яке направляється на коксування. Так на коксохімічних виробництвах України, в останні роки, помітно понизилася спікливість шихт за рахунок зменшення в них частки жирного та коксового і збільшення газового вугілля [1].

Марочний склад і властивості шихти є головними факторами, які визначають фізико-механічні властивості коксу. Спостерігається погіршення сировинної бази та необхідність залучати до складу вугільної шихти для коксування газове вугілля. Варіювання складом шихти в умовах сировинної бази коксування, яка погіршується, стає малоефективним, а часті перешихтовки в рамках наявної вугільної бази коксування не поліпшують якість коксу, а найчастіше приводять до високих коливань показників його якості. Наслідком цього є нестабільний тепловий режим доменних печей і перевитрата коксу, тому що технологи доменних цехів змушені працювати із завищеним показником вмісту кремнію в чавуні, щоб не допустити миттєве охолодження печей [2]. Поліпшення якості коксу відповідно до сучасних вимог доменного

виробництва повинне сприяти зниженню його питомої витрати при виробництві чавуну й тим самим зменшенню гострого дефіциту в цьому найважливішому продукті. Крім того, треба враховувати, що в собівартості чавуну вартість коксу становить значну частину (до 50 %) [3].

Відомо, що в собівартості коксу більше 90 % доводиться на частку вугілля. Це обставина, а також виснаження ресурсів коксівного вугілля, приводять до необхідності залучення до складу шихт більш дешевого, але менш якісного вугілля. Для таких вугільних шихт потрібний інший технологічний режим процесу коксування. При сформованій вугільній бази коксування можна істотно поліпшити показники механічної міцності коксу і його гранулометричний склад за рахунок удосконалення підготовки вугільних шихт. При введенні в шихту для коксування газового і слабкоспіктивного вугілля якість шихти, а відповідно і коксу погіршуються. Тому для поліпшення якості коксу особливе значення мають нові методи підготовки вугілля до коксування, його коксування. До таких методів відносяться: вибіркове подрібнення вугілля, трамбування, сушка і попередня термічна обробка вугілля, вибір оптимальної тривалості і кінцевої температури коксування, розділення коксу на окремі класи крупності, а також введення в шихту різних органічних і мінеральних домішок. Практичне здійснення цих методів підвищує також продуктивність коксових печей.

До новітньої технології підготовки вугільної шихти можна віднести метод вибіркового подрібнення, являє собою спосіб, коли подрібнюються тільки крупні класи вугілля, причому подрібнення окремих класів може здійснюватися диференційовано [2]. Відділений дріб'язок є готовим продуктом і не приймає участі в подрібненні.

Погіршення у вугільній базі коксування добре були видні вже в середині минулого століття, коли були запропоновані і розроблені основні напрями і способи підвищення якості коксу в існуючих сировинних умовах (таблиця 1.1) [1]. Аналізуючи дані таблиці 1.1 можна зробити висновок, що одним із способів підвищення якості коксу є термічна підготовка вугільної шихти до коксування.

Головною ознакою вибіркового подрібнення є супутній йому процес класифікації за крупністю або за питомою вагою. При цьому поділ на класи може проводитися за допомогою грохотів і відцентрових віддільників або гравітаційним шляхом за допомогою отдувки.

Будь-яке, у тому числі петрографічне однорідне, збагачене мокрим способом, вугілля залежно від технологічної схеми підготовки та рівня подрібнення утворює класи, які відрізняються один від одного зольністю, петрографічним складом, спікливістю і іншими показниками. У крупних класах зосереджується більш зольна, гірше спіклива частина вугілля із мінімальним вмістом вітриніта.

Саме для такого вугілля найбільш раціональною є новітня технологія вибіркового подрібнення із застосуванням відсіву дрібних класів вугільної шихти. Дана схема має переваги перед традиційними схемами ПШ, ПК, і ГПК тому, що дозволяє не допустити переподрібнення дрібних класів вугільної шихти. Ця технологія підготовки вугільної шихти була впроваджена у вуглепідготовчому цеху КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Аналізуючи досвід експлуатації установки по відсіву дрібних класів можна стверджувати, що дана технологія підходить для петрографічно однорідного вугілля. При цьому її застосування дозволяє знизити вміст пилу (клас 0,5-0 мм) у вугільній шихті на 4,4 %, збільшити насипну щільність на 0,022 т/м³ і збільшити механічну міцність коксу [3]. Це, у свою чергу, поліпшує умови праці у ВПЦ, знижує кількість шкідливих викидів в атмосферу та зменшує втрати коксівного вугілля. Для петрографічно неоднорідного вугілля найбільше підходить новітня технологія вибіркового подрібнення із пневмосепарацією у віддільнику з киплячим шаром (ВКШ).

У зв'язку з необхідністю розширення сировинної бази коксування більше чверті століття назад почали займатися термічною підготовкою вугільної шихти, однак ця проблема й сьогодні залишається актуальною [1]. Сучасні тенденції розвитку коксового виробництва характеризуються прагненням розробити способів коксування слабоспікливого та неспікливого вугілля,

знизивши при цьому витрати та зменшивши забруднення навколишнього середовища. Одним з напрямків, що дозволяють реалізувати зазначені тенденції, варто вважати термічну підготовку вугільної шихти до коксування. Вона дозволяє інтенсифікувати процес коксування, розширити сировинну базу, підвищити насипну щільність вугільної шихти, поліпшити якість коксу, зменшити забруднення атмосфери [1]. Більшість підприємств обмежені певним марочним складом вугілля і вимушені складати шихту у рамках існуючої вугільної бази. У цих умовах в число первинних завдань, які можуть забезпечити підвищення якості коксу, виходять технології збільшення насипної маси вугільної шихти перед подачею її в коксові камери.

Вугільна шихта перед коксуванням підігрівається газоподібним теплоносієм в одно - і двоступінчастих трубчастих сушарках-підігрівачах або в підігрівачах-диспергаторах з киплячим шаром. Теплоносій одержують спалюванням коксового або природного газів з наступним змішанням високотемпературних продуктів горіння із частиною відпрацьованого циркулюючого теплоносія.

У цілому основні принципи термічної підготовки вугільної шихти перед коксуванням можна звести до наступного.

1. Застосування багатоступінчастих термічних установок.
2. Використання для проведення процесів термічної підготовки перегрітої пари, а також газів (повітря, азоту, димових газів).
3. Об'єднання процесів термічної підготовки з іншими технологічними процесами.

Системи термічної підготовки вугільних шихт перед коксуванням переважно багатоступінчасті із внутрішньою проточією часток вугілля та теплоносія. Такі системи практично виключають можливість утилізації низькопотенціальних енергоносіїв, зокрема тепла топочних газів після регенераторів коксових печей, а це потужне джерело теплового забруднення атмосфери [1].

1.2 Теоретичні основи термічної підготовки вугілля і гасіння коксу

1.2.1 Термічна підготовка шихти твердим теплоносієм

На початку 70-х років розроблена технологія термічної підготовки вугільної шихти твердим теплоносієм [2]. Як теплоносій використовувався гарячий кокс із коксових камер. Технологічна схема термічної підготовки шихти (ТПШ) твердим теплоносієм: гарячий кокс із температурою 1000°C надходить у накопичувальний бункер, стіни якого футеровані вогнетривкою цеглою (рис.1.1) [2].

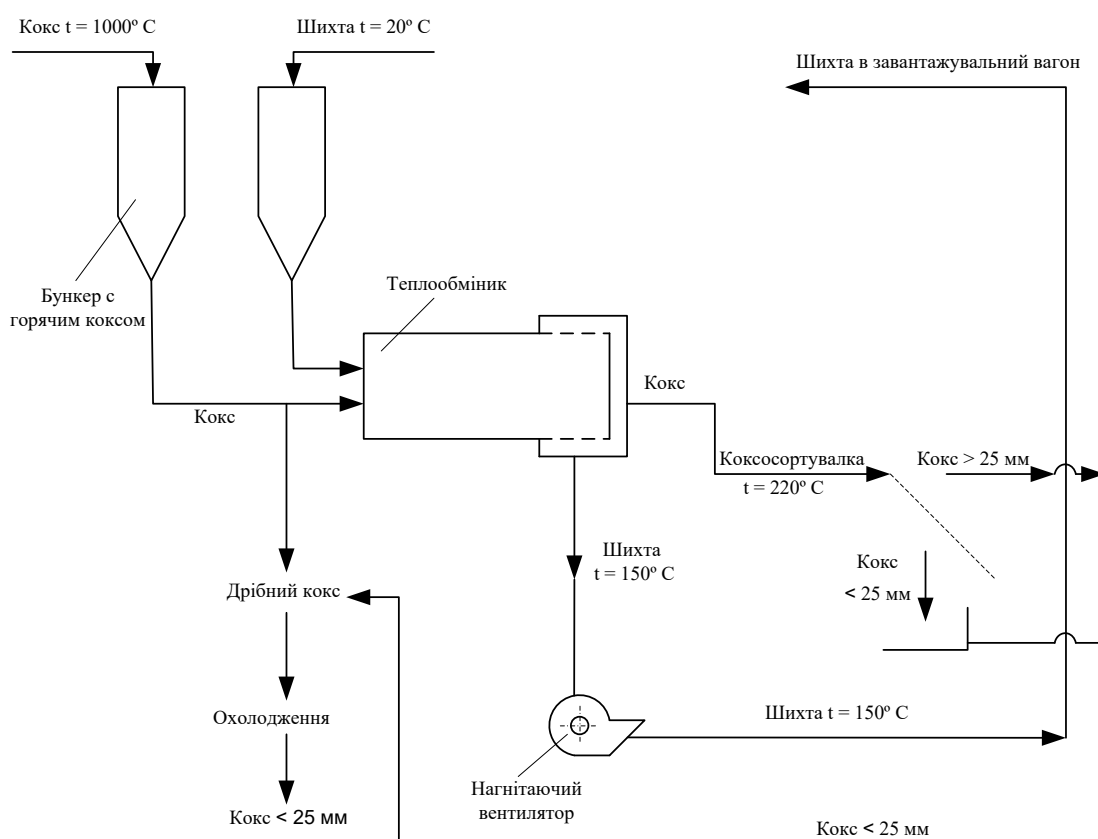


Рис. 1.1. Схема термічної підготовки шихти твердим теплоносієм

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [2, 3]

З бункера гарячий кокс порціями однакової маси спеціальним штовхачем видається в теплообмінник. На шляху руху коксу встановлено гуркіт для відсівання дрібного коксу крупністю < 25 мм. У теплообмінник вугільна шихта

подається з бункера автоматичним дозатором. Це забезпечує постійне співвідношення вугільної шихти й коксу в суміші, що надходить у теплообмінник. В останньому відбувається сушіння й нагрівання вугільної шихти гарячим коксом. Тобто тут в одному апараті з'єднано процеси охолодження коксу й нагрівання вугільної шихти. У процесі охолодження коксу відбувається його легка механічна обробка. У результаті поліпшується механічна міцність коксу: M_{25} та M_{10} покращуються у середньому на 2,5 та 1,5 % [4]. В теплообміннику розташовані сита. У результаті відбувається виділення дрібного матеріалу нагрітого до 150 °C - вугільної шихти, що подається до циклону. Виділена в циклоні вугільна шихта надходить у бункери завантажувального вагона. Охолоджений у теплообміннику кокс надходить на коксортування. Разом з вугільною шихтою з теплообмінника виділяється біля 1-2 % дрібного коксу.

Переваги ТПШ твердим теплоносієм:

- а) використовується тепло коксу;
- б) здійснюється м'який процес нагрівання вугілля (передача тепла від коксу до вугільної шихти);
- в) одночасно з охолодженням коксу відбувається його легка механічна обробка;
- г) в одному апараті сполучено процеси охолодження коксу та термічної підготовки вугільної шихти [4].

Розроблено декілька способів завантаження ТПШ, найбільш відомі: завантаження шихти в камеру коксування за допомогою трубопроводу, ланцюгового конвеєра і спеціального завантажувального вагона [4].

В основу способу трубопровідного завантаження (метод Коултек) покладено нагрівання вугільної шихти в апараті із псевдоожиженим шаром і трубопровідне транспортування шихти в коксові печі [5]. Вологе вугілля розділяють на два класи. Клас > 25 мм подрібнюють, приєднують до класу < 25 мм і направляють у зону швидкісного сушіння, куди подається гарячий газ-теплоносій. Частково підсушене вугілля виноситься висхідним потоком

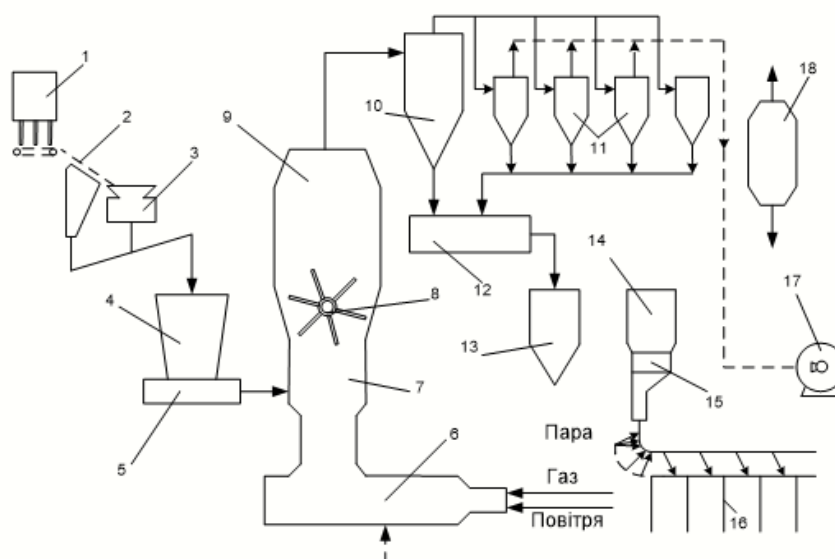
теплоносія в розширену зону підігрівача, де створюється псевдоожижений шар; у нижній частині підігрівача розташована ротаційна молоткова дробарка. Верхня межа крупності подрібненого вугілля становить 6 мм, при цьому вихід класу < 3 мм досягається 90 % [5]. Підігріта до 260 °С шихта відділяється від теплообмінику у звичайних циклонах. Гаряча шихта із циклонів надходить у прийомний бункер, з якого періодично подається в дозувальний бункер, а з нього в завантажувальний трубопровід коксових печей. По трубопроводу шихта транспортується до печей під дією пари, що подається в трубопровід через форсунки, розташовані по його довжині. На головному трубопроводі для кожної печі розташовані індивідуальні клапани для підключення та відключення під час завантаження підігрітої шихти в печі через завантажувальний люк.

1.2.2 Термічна підготовки шихти газовим теплоносієм

Термічна підготовка шихти газовим теплоносієм відбувається в апараті з киплячим шаром. Спосіб термічної підготовки шихти по методу Коултек об'єднує одноступінчастий підігрів шихти в підігрівнику, з киплячим шаром, з наступним пневматичним завантаженням її в коксові камери [7]. Досвідчена установка по термічній підготовці та трубопровідному завантаженні шихти в коксові печі по методу Коултек введена в експлуатацію в 1970 році на коксохімічному заводі в Айронтоне [7]. Технологічна схема процесу наведена на рисунку 1.3. Вологе вугілля з вугільної башти вивантажується шнековими конвеєрами, один із яких обладнано металовідокремлювачем. Потім вугілля класифікують по класу 25 мм на гуркоті. Гаряче вугілля із циклонів надходить у прийомний бункер 13, з якого періодично подається в дозувальний бункер 14, а з нього в завантажувальний трубопровід коксових печей. По трубопроводу вугілля транспортується до печей під дією пари, що подається в трубопровід через форсунки, розташовані по його довжині. На головному трубопроводі для кожної печі розташовано індивідуальні клапани для підключення й

відключення під час завантаження нагрітої шихти в печі через завантажувальний люк.

1



- 1 - вугільна башта; 2 - гуркіт; 3 - дробарка; 4 - бункер-живильник; 5 - шнековий живильник; 6 - камера спалювання газу; 7 - зона швидкісного сушіння; 8 - дробарка-змішувач; 9 - зона киплячого шару; 10 - первинний циклон; 11 - вторинні циклони; 12 - шнековий конвеєр; 13 - прийомний бункер; 14 - дозувальний бункер; 15 - дозатор; 16 - печі; 17 - димосос

Рис.1.3. Технологічна схема установки для попереднього підігріву та трубопровідного завантаження шихти

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5,6]

Перевагами цього способу завантаження є герметичність трубопровідної системи, висока якість коксу із шихти з підвищеним вмістом слабоспівного вугілля. Недоліками способу є низька щільність пневмозавантажувальної шихти (тільки на 2-4 % вище щільності вологої шихти); значне віднесення її в газозбірник при завантаженні; ушкодження вогнетривкої футировки підігрівників.

По способу конвеєрного завантаження (у метод Прекорбон) здійснюється двоступінчасте нагрівання вугільної шихти у висхідному потоці газу теплоносія й гравітаційного завантаження її в коксові печі за допомогою закритого контейнера [8]. При завантаженні нагрітої шихти через два

завантажувальних люки зі швидкістю 6 т/хв відпадає необхідність у плануванні шихти. Температура нагрітої шихти при завантаженні в коксові печі 170-200 °С [8]. Перевагою цього методу коксування, термічно- підготовленої шихти, є нескладне апаратурне оформлення процесів підігріву та завантаження шихти в коксові камери. До недоліків варто віднести подрібнення шихти при її нагріванні та деяке зниження її щільності в порівнянні із щільністю цієї ж шихти, нагрітої іншими способами. Отримана смола відрізняється підвищеною запиленістю (зольність 0,2-0,3 %) і більш високим, у порівнянні зі звичайною смолою, вмістом речовин нерозчинних у хіналіні. У нашій країні є вагонне завантаження вугільної шихти в камери. При цьому використовується спеціальний завантажувальний вагон для термічно підготовленої вугільної шихти [8]. Використовують в одному процесі різні технології підготовки вугільної шихти з метою поліпшення економіки процесу. Відпрацьований теплоносій, що виходить із вторинних циклонів, розділяється на два потоки: частина теплоносія подається димососом на рециркуляцію в камеру спалювання газу, інша кількість після мокрого очищення в скрубєрі скидають в атмосферу. Основним недоліком нагрівання вугілля газовим теплоносієм є велика витрата тепла (газу), а також необхідність очищення газу теплоносія від пилу, що приводить до більших енерговитрат. Також при нагріванні газом-теплоносієм відбувається перегрів дрібних класів і погіршується спікливість шихти.

На Харківському досвідченому КХЗ УХІНом відпрацьована технологія двоступінчатої термічної підготовки вугілля газовим теплоносієм в його паралельних висхідних потоках. Гіпрококсом за початковими даними ВУХІНа і УХІНа розроблений проект промислової установки термічної підготовки шихти в одноступінчатій сушарці труби для коксової батареї продуктивністю 930 тис.т./кокса в рік [7]. В цій схемі початкова вугільна шихта з бункера автодозатором і стрічковим конвеєром подається в шнековий завантажувач, який направляє її в трубу. Знизу в сушарку труби з топки поступає теплоносій. За рахунок швидкісного натиску потоку теплоносія шихта переходить в стан

газосуспензії і рухається у висхідному потоці. Завдяки великій поверхні контакту між вугіллям і теплоносієм відбувається інтенсивний теплообмін і швидке видалення вологи з вугілля.

Таким чином, проаналізував новітні технології термічної підготовки газовим теплоносієм визначаємо ряд недоліків, головним з яких є великий об'єм теплоносія, це позначає великі об'єми устаткування, енерго- і капіталоемність, вибухонебезпека.

1.3 Аналіз впливу технологічного процесу термічної підготовки вугілля на навколишнє середовище

Коксохімічне виробництво ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» відноситься до числа підприємств - забруднювачів природного середовища міста Кривий Ріг. У процесі виробничої діяльності КХВ можна виділити наявність наступних екологічних аспектів:

- викиди забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел забруднення;
- утворення стічних промислових стоків;
- вплив промислової діяльності на якість атмосферного повітря в робочій зоні;
- утворення промислових та побутових відходів.

Усі основні виробничі цехи коксохімічного виробництва вносять свій внесок у загальні валові викиди забруднюючих речовин в атмосферу. Найбільший об'єм викидів від стаціонарних джерел має коксовий цех (таблиця 1.2). Відповідно до [8] припустимий вміст вугільного пилу в повітрі не повинен перевищувати 4 мг/м³. Насправді ж запиленість у багато разів перевищує припустиму норму. При спільному здійсненні термічної підготовки вугільної шихти та гасіння коксу відходами виробництва є водяна пара, що утворюється в результаті випари вологи з вугільної шихти, і при випарному охолодженні

коксу. Водяна пара містить вугільний і коксовий пил, феноли, аміак, оксид вуглецю.

Таблиця 1.2

Перелік шкідливих виробничих речовин, що викидаються в атмосферу в коксовому цеху

№ п/п	Найменування речовини	Кількість, т/рік
1	Пил вугільна	201,896
2	Пил коксовий	1628,163
3	Аміак (NH_3)	81,136
4	Сірководень (H_2S)	9,867
5	Фенол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$)	8,140
6	Ціаністий водень (HCN)	5,324
7	Бензол (C_6H_6)	30,843
8	Нафталін (C_{10}H_8)	4,963
9	Сірчистий ангідрид (SO_2)	139,685
10	Сажа	26,270

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5,6]

Концентрація цих речовин у парі, питомі й валові викиди шкідливих речовин при здійсненні цього процесу значною мірою залежать від способу реалізації надлишкового тепла коксу й від складу води, використовуваної в технологічному процесі [9].

Дані по концентраціях шкідливих речовин у парогазовій суміші, що викидається в атмосферу установкою спільного здійснення термічної підготовки шихти й гасіння коксу, наведено в таблиці 1.3 [9].

При термічній підготовці шихти та гасінні коксу, по розглянутому способу, стічні води не утворюються. Більше того, при цьому істотно скорочується кількість стічних вод при коксуванні, тому що в цьому випадку волога, що утримується у вихідній шихті, у камеру коксування не попадає, вона випаровується до завантаження шихти в піч. Зменшення кількості стічної води в коксовому виробництві за рахунок термічної підготовки шихти складе 0,1285 м³ на кожен тону коксу [9]. Для оцінки екологічної ситуації при здійсненні термічної підготовки шихти та гасіння коксу по новому способу, викиди

установки повинні бути зіставлені з викидами при мокрому гасінні коксу технічною водою. Дані наведені в таблиці 1.4 [9].

Таблиця 1.3

Концентрації шкідливих речовин у парогазовій суміші

Найменування	Концентрація мг/м ³
Феноли	54,7
Аміак	24,2
Цианістий водень	6,4
Сірководень	-
Оксид вуглецю	334,0
Коксовий пил	150,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5,6]

Таблиця 1.4

Порівняльна характеристика питомих викидів при новому процесі та при гасінні коксу мокрим способом

Найменування	Питомі викиди шкідливих речовин г/т коксу	
	при новому процесі	при гасінні мокрим способом
Феноли	9,4	16,0
Аміак	4,18	38,0
Цианістий водень	1,1	8,5
Оксид вуглецю	100÷26	38,0
Сірководень	-	20,0
Коксовий пил	27,5	50,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

Із зіставлення цих даних видно, що питомі викиди шкідливих речовин при спільному здійсненні термічної підготовки шихти й гасіння коксу значно менше, ніж при мокрому гасінні коксу. Виключення становлять викиди оксид вуглецю, які значно вище в новому процесі [9]. Оскільки при постійній експлуатації установки продуктивність коксової батареї зросте на 18 %.

Таким чином, застосування запропонованої нової технологічної схеми супроводжується зниженням питомих викидів по більшості токсичних компонентів (табл. 1.5). Забруднення повітряного басейну й загазованість нагорі коксової батареї при новому процесі зменшується також за рахунок того,

що при завантаженні печей термічно підготовленою шихтою виключається операція

Таблиця 1.5

Порівняння величини питомих викидів шкідливих речовин в атмосферу при новому процесі й при мокрому гасінні коксу

Найменування	Зменшення (-) і перевищення (+) питомих викидів у новому процесі в порівнянні з базовим, %
Феноли	- 41,2
Аміак	- 89,0
Цианістий водень	- 87,0
Оксид вуглецю	+ 230,0
Сірководень	- 100,0
Коксовий пил	- 45,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

планування при якій з печі викидається велика кількість газів завантажування та вугільного пилу [9]. Відсутність необхідності в здійсненні операції планування завантаженої в піч шихти дозволяє герметично закрити планірні люки й виключити виділення через них газу в процесі коксування [9]. Слід зазначити, що кількість шкідливих викидів при новому процесі по всіх токсичних компонентах у декілька разів менше сумарних викидів шкідливих речовин при термічній підготовці шихти газовим теплоносієм і гасінні коксу мокрим і сухим способами [9].

Викиди в повітряний басейн при новому процесі можуть бути істотно зменшені, якщо підлягаючи викиду до атмосфери водяні пари, після сепарації від вугільного пилу, направити в газозбірники коксової батареї.

Так як кількість пари, що підлягає скиданню з установки, буде відповідати кількості пари, що надходить у газозбірники батареї з коксових печей при роботі на вологій шихті, у даному процесі будуть ліквідовані всі викиди в повітряний басейн (за винятком викидів при завантаженні бункера) [8]. При цьому кількість шкідливої стічної води на стадії коксування, концентрація в ній солей і водний режим роботи газозбірників коксової батареї збережуться на сучасному рівні.

Таким чином, пропонована технологія гасіння коксу в умовах КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» не тільки не приведе до погіршення екологічної ситуації в районі батарей і на комбінаті в цілому, але й поліпшить умови праці нагорі коксової батареї, і зменшить забруднення навколишнього середовища багатьма токсичними компонентами [9].

1.4 Аналіз стану та зміни вугільної сировинної бази України

1.4.1 Структура вугільної сировинної бази в умовах воєнного стану

Стан вугільної промисловості України на теперішній час визначається глибокими структурними деформаціями, викликаними веденням бойових дій та втратою контролю над значною частиною родовищ Донецького вугільного басейну. Традиційна сировинна база, яка протягом десятиліть забезпечувала енергетичну та металургійну незалежність держави, зазнала критичних змін. Основний обсяг запасів високоякісного вугілля, включаючи антрацити і дефіцитні марки вугілля, що коксується, опинився в зоні тимчасової окупації або безпосередньої близькості до лінії фронту. Скорочення обсягів внутрішнього видобутку вугілля обумовлено комплексом взаємопов'язаних факторів технічного, логістичного та геополітичного характеру (таблиця 1.6). Протягом останніх п'яти років (2021–2026 роки) якісний склад доступної вугільної бази України звузився до кількох ключових марок, які видобувають переважно у Західному Донбасі (Дніпропетровська область) та Львівсько-Волинському басейні. У структурі внутрішнього видобутку переважає енергетичне вугілля марки Г (газове) та довгопламенне вугілля. Ці марки характеризуються високим виходом летких речовин та середньою спекаемістю, що дозволяє використовувати їх в енергетичному секторі, але суттєво обмежує застосування в металургійній шихті без попереднього збагачення та змішування з імпортними концентратами. Запаси вугілля, що коксується, марок К, Ж, ПС (пісне, спікливе), необхідних для виробництва

якісного доменного коксу, в підконтрольних регіонах представлені переважно шахтами Покровського району Донецької області. Цей промисловий вузол є єдиним внутрішнім джерелом високоякісного коксового концентрату, функціонуючи в умовах перманентних ризиків безпеки.

Таблиця 1.6

Аналіз погіршення сировинної бази коксування за 2022-2026 р.

Причини скорочення обсягів внутрішнього видобутку вугілля	Комплекс взаємопов'язаних факторів технічного, логістичного та геополітичного характеру
Фізична втрата виробничих потужностей.	Шахти, які виробляли дефіцитне вугілля марок К (коксове) та Ж (жирне) у Донецькій та Луганській областях, зазнали руйнування або консервації внаслідок затоплення, спричиненого припиненням енергопостачання водовідливних установок.
Руйнування енергетичної інфраструктури	Постійні пошкодження магістральних електричних мереж та підстанцій призводять до аварійних зупинок діючих вуглевидобувних підприємств, що знижує середньодобову продуктивність вибоїв та збільшує витрати на підтримку виробок у безпечному стані.
Дефіцит кваліфікованих кадрів.	Мобілізаційні процеси суттєво скоротили чисельність підземного персоналу, що змушує операторів ринку оптимізувати видобуткові роботи та концентрувати ресурси виключно на найбільш продуктивних пластах.
Транспортно-логістичні обмеження.	Ушкодження залізничних вузлів та дефіцит рухомого складу ускладнюють доставку видобутої сировини від збагачувальних фабрик до кінцевих споживачів.

Примітка. Джерело: розроблено автором

1.4.2. Особливості забезпечення вугільною сировиною ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Публічне акціонерне товариство «АрселорМіттал Кривий Ріг» є найбільшим металургійним підприємством повного циклу в Україні, ефективна робота якого безпосередньо залежить від стабільності поставок коксівного вугілля. Доменне виробництво комбінату потребує постійного постачання коксу з високими показниками гарячої міцності, що накладає жорсткі вимоги на якість вугільної шихти. Зміна сировинного ринку змусила керівництво комбінату повністю перебудувати систему постачання коксохімічного виробництва. Скорочення внутрішніх поставок українського вугільного

концентрату спричинило необхідність залучання імпорتنих каналів. У період останніх п'яти років структура споживання вугілля на підприємстві формувалася під впливом дефіциту локальної сировини та зміни глобальної логістики. Основу вугільної шихти ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у аналізований період становили такі компоненти:



Фізико-хімічна сутність процесу підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження полягає у видаленні поверхневої та гігроскопічної вологи з вугільної маси, а також у нагріванні дрібнодисперсних частинок до температури сто п'ятдесят – сто вісімдесят градусів Цельсія за рахунок утилізації теплоти інертного газу, що циркулює у замкнутому контурі установки сухого гасіння. Термічна обробка оптимізує насипну щільність шихти в камері коксування, збільшуючи цей показник на одинадцять-п'ятнадцять відсотків. В результаті досягається тісніший контакт між вугільними зернами в момент їх переходу в пластичний стан, що критично важливо при дефіциті високоякісних марок вугілля.

Впровадження суміщеного процесу термopідготовки шихти та охолодження коксу є ефективним інструментом, що компенсує сучасну вугільну сировинну базу України. Економічна та технологічна доцільність

цього рішення в рамках розвитку ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» підтверджується такими факторами:

Таблиця 1.7

Ефективність впровадження суміщеного процесу термopідготовки шихти та охолодження коксу

Фактори	Оґрунтування
Розширення сировинної бази коксування	Попереднє нагрівання нівелює низькі спекаючі властивості слабококсівного та газового вугілля, запаси якого у Дніпропетровському та Львівсько-Волинському басейнах залишаються стабільними. Технологія дозволяє збільшити частку газових марок у шихті з традиційних десяти відсотків до двадцяти п'яти відсотків без зниження характеристик міцності готового коксу.
Підвищення показників міцності коксу.	За рахунок ліквідації термічного шоку при завантаженні сухої нагрітої шихти та гомогенізації процесу напівкоксування показники міцності коксу М40 підвищуються на три - чотири відсотки, а стирання М10 знижується на один відсоток. Це забезпечує стабільну роботу доменних печей комбінату навіть за використання багатокомпонентних імпорتنих сумішей змінної якості.
Інтенсифікація продуктивності пічного фонду.	Видалення вологи із сировини поза коксовою батареєю скорочує період періоду коксування на дві-три години. Цей фактор забезпечує приріст продуктивності існуючих коксових батарей на п'ятнадцять-двадцять відсотків, що знижує потребу в масштабних капітальних вкладеннях у будівництво нових пічних потужностей.
Ресурсозбереження та екологічний ефект.	Повна утилізація тепла розпеченого коксу знижує питому витрату тепла на коксування на 20 відсотків. Замкнений контур циркуляції газів запобігає викидам пилу та токсичних сполук в атмосферу, що повністю відповідає екологічним нормативам Європейського Союзу.

Примітка. Джерело: розроблено автором

1.5 Висновки до аналітичної частини

Технологічна схема спільного здійснення термічної підготовки шихти та сухого гасіння коксу шляхом прямого теплообміну між шихтою і розпеченим коксом, що дозволяє одержати термічно підготовлену вугільну шихту із шихт із підвищеним вмістом (до 70 %) слабоспікливого газового вугілля.

Для визначення ефективності проектного рішення приводимо порівняльну характеристику технологій підготовки вугільних шихт для коксування (табл. 1.7). З таблиці видно скорочення участі в шихтах найбільш дефіцитного і дорогого спікливого вугілля марок Ж, К, ПС: нові технології дозволяють знизити витрату в найбільшій кількості при виробництві коксу до

15 %. Максимальна міцність досягається при технології термічної підготовки шихти. Тут $M_{25} = 88,5 \%$ і $M_{10} = 5,9 \%$ [7]. При звичайній технології підготовки величина цих показників 83,5 % і 8,5 % відповідно.

Таблиця 1.7

Порівняльна оцінка схем підготовки вугільних шихт для коксування

Шихта	Шарове коксування	Технології підготовки				
		Вибіркове подрібнення	ЧБШ	ТПШ	Трамбування	Формований кокс
1	2	3	4	5	6	7
Г	32	45	55	70	55,7	70
Ж	35	20	15	20	20,0	-
К	15	10	10	10	-	-
ПС	15	20	10	-	20	15
Т	3	5	10	-	10	15
Участь спіктивного вугілля	65	50	35	30	4,3	30
Міцність коксу:						
M_{15}	88	83,5	86,8	88,5	88,0	-
M_{25}	8,5	8,5	7,0	5,9	6,8	-

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9]

Таким чином, розробка технології сполученого процесу нагрівання шихти та охолодження коксу є актуальним завданням, від рішення якого залежить і якість коксу і рівень забруднення навколишнього середовища.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Технологічний процес спільного здійснення термічної підготовки шихти і гасіння коксу

Відмінною рисою процесу є спільне здійснення термічної підготовки вугільної шихти та гасіння коксу шляхом прямого проточного теплообміну між вугільною шихтою та гарячим кусковим коксом. У теплообміні з вугільною шихтою використовується кокс крупністю +25 мм. Тому кокс, прийнятий у процесі, перед змішанням з вугіллям піддається, в гарячому стані, розсіву на дві фракції: +25 мм й -25 мм [6]. Коксовий дріб'язок (25-0 мм) охолоджується мокрим способом і направляється на сортування коксу для розсіву на класи 25 - 10 мм й 10 - 0 мм [7]. Теплообмін між гарячим кусковим коксом і вугільною шихтою проводиться в теплообміннику барабанного типу. У результаті теплообміну вугільна шихта нагрівається до 120 - 140 °С, а кокс охолоджується до 180-200 °С. Після завершення теплообміну вуглекоксова суміш сепарується в барабанному гуркоті для виділення нагрітої вугільної шихти від охолодженого коксу. Щоб уникнути влучення вугілля в кокс при сепарації, нагріта вугільна шихта на виході з теплообмінної зони барабана не повинна містити часток крупністю більше 10 мм. Для цього помел вихідної шихти повинен бути не нижче 85 % класу 3-0 мм. Охолоджений кокс направляється на сортування, а нагріта вугільна шихта пневмотранспортом - у накопичувальний бункер для наступного коксування. При перемішуванні кускового коксу з вугільною шихтою в процесі теплообміну та при сепарації суміш коксу та вугілля піддається м'якій механічній обробці, у результаті якої відбувається реалізація тріщин у крупних шматках коксу й деяке його стирання, з утворенням коксового дріб'язку, що змішується з вугільною шихтою й повертається на коксування [8]. Кількість коксового дріб'язку в шихті після теплообміну з коксом становить 1-2 % і на 70-75 % вона складається із часток

крупністю менш 0,5 мм. Цей коксовий дріб'язок не робить помітного впливу на коксівність нагрітої вугільної шихти.

Термічна підготовка вугільної шихти перед коксуванням, у сполученні з механічною обробкою коксу при його русі в бункері-накопичувачі, просіюванні в гарячому стані й при наступному обкатуванні в суміші з вугільною шихтою сприяє поліпшенню якісних характеристик коксу ($M_{25} = 88,5 \%$, $M_{10} = 5,9 \%$) зниженню його реакційної здатності ($CSI=29\%$) та збільшення виходу металургійного коксу на 4-6 %.

Розпечений кокс для використання в процесі повинен прийматися в спеціальний накопичувальний бункер. Завантаження бункера-накопичувача може вироблятися як самостійно, так і з установок сухого гасіння коксу.

Оскільки фізичне тепло виробленого коксу майже у два рази перевищує потребу в теплі для нагрівання вугільної шихти 9 % вологості до 120-130 °C, то його необхідно реалізувати наступним методом: у бункер-накопичувач приймається весь кокс, вироблений на батареї. Бункер обладнано змійовиками, у які подається вода для зняття надлишкового тепла коксу й одержання гарячої води за рахунок використання цього тепла. Після зняття надлишкового тепла середня температура коксу складе 650 °C [8].

Цей метод забезпечує високу механічну міцність коксу, скорочення викидів до повітряного басейну та ефективність з погляду енергозбереження. Технологічна карта спільного здійснення термічної підготовки шихти і гасіння коксу представлена у таблиці 2.1 та на рис.2.1.

Таблиця 2.1

Технологічна карта спільного здійснення термічної підготовки шихти і гасіння коксу

Назва та тип етапу	Опис технологічної операції	Технологічні параметри, обладнання та фізико-хімічна суть етапу
Прийом та накопичення коксу (Вхідний етап)	Завантаження розпеченого коксу в бункер-накопичувач.	Кокс надходить безпосередньо з коксових батарей із початковою температурою близько 1000–1050 °С. Бункер виступає в ролі буфера для вирівнювання циклічності видачі коксу.
Первинне охолодження (Знімання тепла) (Параметри: $Q = 0,14$ ГКал, $T = 650$ °С)	Знімання надлишкового тепла коксу в бункері-накопичувачі.	За рахунок утилізації тепла відбувається зниження середньої температури коксу до 650 °С. Обсяг знятого тепла становить 0,14 ГКал на тону коксу, що стабілізує матеріал перед подальшою механічною обробкою.
Дозоване вивантаження (Контроль продуктивності)	Безперервна видача гарячого коксу з бункера-накопичувача із заданою продуктивністю.	Забезпечується за допомогою спеціальних герметичних живильників для підтримання стабільного масового потоку у всьому подальшому ланцюгу.
Первинна класифікація (Грохочення гарячого коксу)	Розсів гарячого коксу з виділенням з нього дріб'язку крупністю менш 25 мм.	Потік розділяється на дві фракції: кусковий (>25 мм), який іде на змішування з шихтою, та дрібний (<25 мм).
Охолодження відсіву (Утилізація тепла дрібної фракції)	Охолодження коксового дріб'язку крупністю менш 25 мм.	Виділена дрібна фракція направляється в окремий охолоджувач, оскільки її безпосереднє змішування з вугіллям у великій кількості є недоцільним і може погіршити якість майбутнього коксу.
Подача сировини (Введення вугільного потоку)	Дозована безперервна подача вихідної вугільної шихти в теплообмінник.	Вологе вихідне вугілля подається паралельно з гарячим кусковим коксом за допомогою вагових дозаторів для суворого дотримання масового співвідношення компонентів.
Контактний теплообмін (Основний реакторний етап)	Перемішування суміші вугілля та коксу в теплообміннику до завершення теплообміну.	Відбувається прямий контактний теплообмін: гарячий кокс віддає тепло, за рахунок чого здійснюється сушка та термічна підготовка (нагрів) вугільної шихти. Волога з вугілля випаровується.
Вторинна класифікація (Розділення компонентів)	Розсів суміші вугілля та коксу для відділення нагрітої вугільної шихти від охолодженого кускового коксу.	Після завершення теплопередачі суміш знову розділяється на грохотах: нагріта дрібнодисперсна шихта йде в один технологічний ланцюг, а повністю охолоджений великий кокс — в інший.
Транспортування підготовленої шихти (Пневмолінія)	Пневмотранспорт нагрітої шихти до накопичувального бункеру.	Нагріте вугілля транспортується в середовищі інертного газу або підігрітого носія, щоб уникнути окиснення та займання, і накопичується перед коксівним переділом.
Видача готового коксу (Фінальна стадія потоку коксу)	Транспортування охолодженого коксу на сортування.	Кусковий кокс, який виконав роль теплоносія і охолодився, прямує на коксосортування для розділення на товарні фракції (доменний, горішок тощо).
Аспірація та екологічний захист (Паралельний безперервний процес)	Евакуація та очищення від вугільного пилу водних парів, що утворюються в процесі.	Парогазова суміш (волога з вугілля + пил) безперервно відсмоктується з теплообмінника та вузлів пересипки, проходить крізь циклони та скрубери для вловлювання пилу, запобігаючи викидам в атмосферу та втратам сировини.

Примітка. Джерело: розроблено автором

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СПІЛЬНОГО ЗДІЙСНЕННЯ ТЕРМІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ШИХТИ І ГАСІННЯ КОКСУ

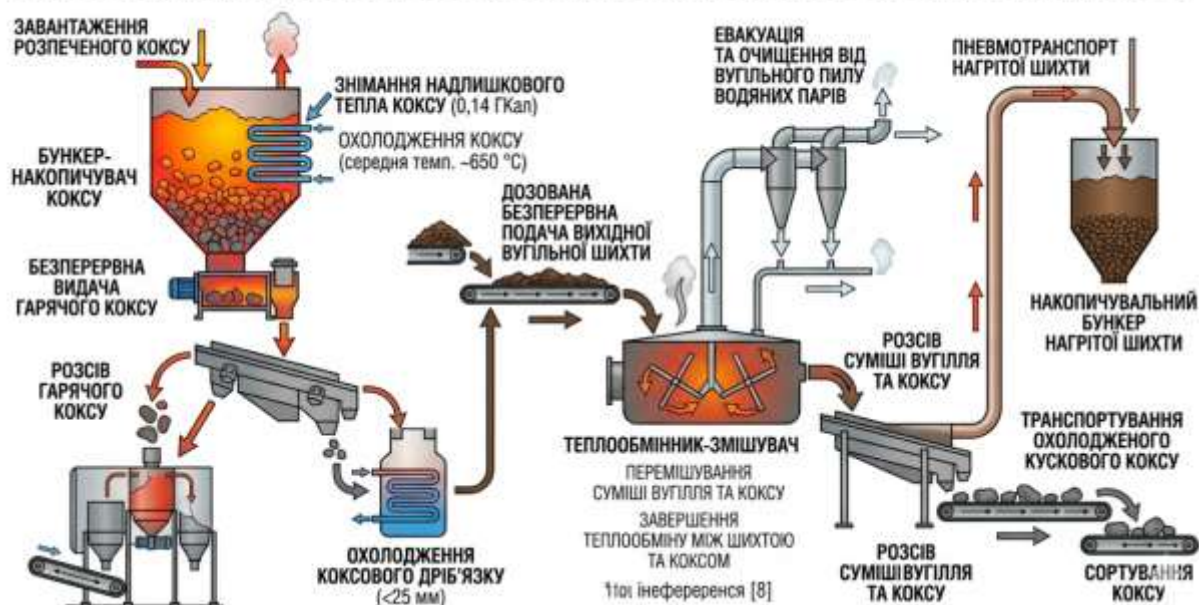


Рис. 1.2. Технологічний процес спільного здійснення підготовки шихти і гісіння коксу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8]

2.1.1 Особливості проведення технологічного процесу

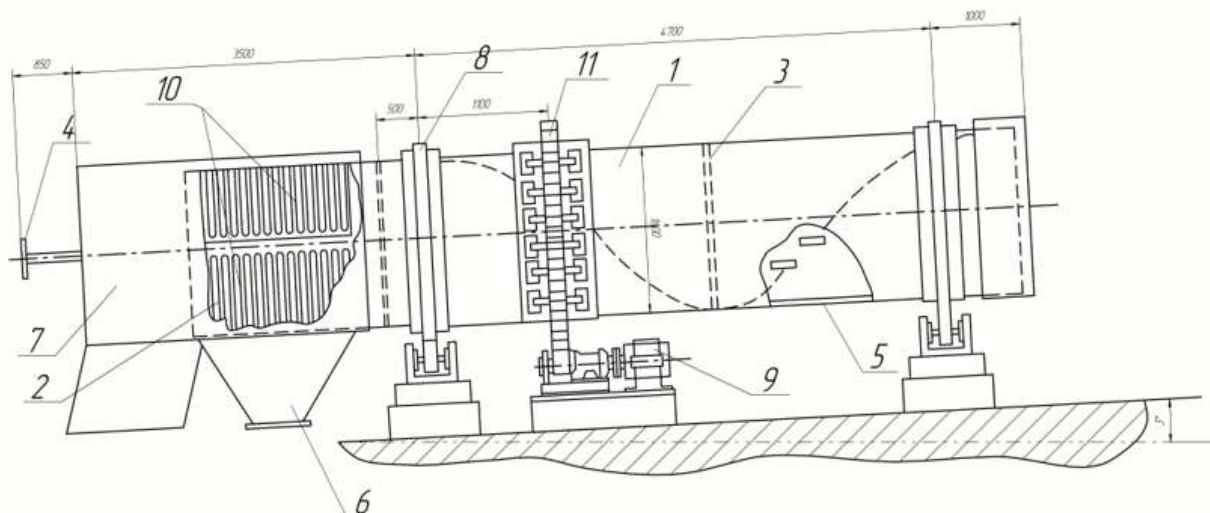
Технологічна лінія повинна повністю забезпечувати дві коксові батареї термічно - підготовленою шихтою, як при нормальному, так і при форсованому режимі. Технологічна лінія складається з:

- бункера-накопичувача розпеченого коксу з розвантажувальним пристроєм; бункер-накопичувач обладнано теплообмінниками для знімання надлишкового тепла коксу та одержання гарячої води за рахунок цього тепла [9];
- віброгрохіту для виділення з розпеченого коксу дріб'язку крупністю 25-0 мм;
- пристрою для охолодження та випуску коксового дріб'язку;
- бункера-накопичувача вугільної шихти з автодозатором;
- стрічкового конвеєра для транспортування вугільної шихти;
- шнекового завантажника вугільної шихти;

- теплообмінного барабана, що включає теплообмінну та сепараційну частини;
- шлюзової камери для випуску охолодженого кускового коксу;
- контуру пневмотранспорту термічно-підготовленої шихти, що включає шнековий завантажник, дут'євий вентилятор, кільцевий газопровід;
- шнека для завантаження термічно-підготовленої шихти в бункер-накопичувач;
- бункера-накопичувача термічно-підготовленої шихти;
- циклона для сепарації вугільного пилу з пари, що виділяється з теплообмінного агрегату;
- вентилятора для відсмоктування парів.

Крім того, на установці є два стрічкових конвеєри для транспортування охолодженого кускового коксу з теплообміннику та охолодженого коксового дріб'язку на сортування, а також два підйомника коксовозного вагону для завантаження розпеченого коксу в бункер-накопичувач [7]. Установка термічної підготовки вугільної шихти розпеченим коксом надана на рисунку 2.2. Вугільна шихта до бункерів-накопичувачів подається за допомогою стрічкових конвеєрів з вуглепідгтовчого цеху. Виданий з печі розпечений кокс, що має температуру 1050-1100 °С, доставляється до підйомника й за допомогою останнього завантажується в бункер-накопичувач розпеченого коксу. Бункер-накопичувач обладнано чавунними змійовиками, у які подається вода. При цьому середня температура коксу при видачі з бункера-накопичувача повинна становити 650 °С. З бункера-накопичувача гарячий кокс направляється в закритий герметичним кожухом вібраційний грохот. У вібраційному грохоті гарячий кокс розсіюється на дві фракції: +25 мм й -25 мм. Фракція -25 мм, пройшовши через сито грохоту, надходить у пристрій для охолодження коксового дріб'язку. Охолодження коксового дріб'язку проводиться шляхом короткочасного занурення у воду. Тривалість перебування коксу у воді 1,5 - 2,0 сек і вологість коксового дріб'язку при цьому складе 18-20 % [9]. При зазначеній вологості забезпечується задовільний наступний поділ цієї фракції

матеріалів. Внутрішня поверхня теплообмінної частини обладнана похилими ґратчастими лопастями, що забезпечують гомогенізацію суміші вугілля та коксу при порівняно невеликій швидкості його обертання, а також різна поступальна швидкість руху й тривалість перебування в теплообміннику вугільної шихти й коксу.



1 - теплообмінна частина; 2 - сепараційна частина; 3 - діафрагма; 4 - розділова діафрагма; 5 - тяга; 6 - ґратчасті лопасті; 7 - труба для розвантаження шихти та коксового дріб'язку; 8 - кожух; 9 - електродвигун; 10 - опорні котки; 11 - колосникові сита; 12 - зубчастий вінець

Рис. 2.3. Теплообмінний барабанний агрегат

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5,6]

Це дозволяє забезпечувати оптимальне, для здійснення теплообміну, співвідношення вугілля та коксу в барабані. У результаті теплообміну вугільна шихта висушується й нагрівається до 120-130 °С, а кокс охолоджується до 180-200 °С. Зміна часу перебування суміші вугілля та коксу, в теплообмінній частині, досягається зміною коефіцієнта заповнення барабана, шляхом регулювання ступеня відкриття діафрагми. Після завершення теплообміну суміш вугілля та коксу надходить у сепараційну частину для відділення нагрітої вугільної шихти від охолодженого кускового коксу. Сепараційна частина являє собою барабанний грохот із трьома ґратчастими полками, встановленими паралельно його осі. Наявність цих полиць поліпшує відділення коксу від тонкого шару вугільного пилу, що осідає на його поверхні. Поділ суміші вугілля та коксу проводиться по крупності 10 мм.

Нагріта вугільна шихта, що пройшла через сита гуркіту, надходить у шнековий завантажник, за допомогою якого вона подається в систему пневмотранспорту для транспортування до бункера-накопичувача термopідготовленої шихти. Разом з вугільною шихтою виводиться коксовий дріб'язок крупністю менш 10 мм, що утворюється в результаті стирання коксу при його русі в барабані. Кількість цього дріб'язку в шихті становить 1-2 %. Охолоджений кусковий кокс виводиться з апарату через шлюзову камеру, на конвеєрі, і транспортується на сортування. У процесі теплообміну між вугільною шихтою та гарячим коксом виділяється пара, внаслідок випару вологи, що втримується у вугільній шихті. Пара з теплообміннику виводиться через трубу, по якій в теплообмінник подається гарячий кусковий кокс. Ця пара разом з парою, що утворюється при охолодженні коксового дріб'язку, за допомогою вентилятора, відсмоктується з вібраційного грохоту. Статичний тиск пари в теплообміннику та у корпусі вібраційного грохота підтримується на рівні 5 мм вод. ст [9]. Перед вентилятором встановлено циклон для сепарації вугільного пилу, що відноситься з парою. Обсяг парів, що відсмоктуються, порівняно невеликий. Далі пара направляється в газозбірники коксової батареї через гідрозатвір.

2.1.2 Технологічний процес спільного здійснення термічної підготовки шихти і гасіння коксу на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

В 1981 році була запроваджена в роботу установка по нагріванню вугільної шихти гарячим кусковим коксом продуктивністю 12 т/годину по вологій шихті на КХВ ПАТ «АМКР», розроблена Вухином разом з Національною Металургійною Академією України [17]. Як твердий теплоносій на установці використовували розпечений кокс, видаваний з коксових печей. Безпосередній теплообмін гарячого коксу (температура 1000 ± 50 °C) і вугільної шихти здійснювався в обертовому барабанному теплообміннику.

Головною перевагою даного способу є сполучення в одному процесі нагрівання вугілля й гасіння коксу. Температура нагрівання вугільної шихти на установці не перевищує 100-130 °С. При цьому співвідношення кількості вугілля й коксу, що надходять у теплообмінник, становить 2,7:1,0 [17].

Принципова технологічна схема процесу представлена на рисунку 2.3.

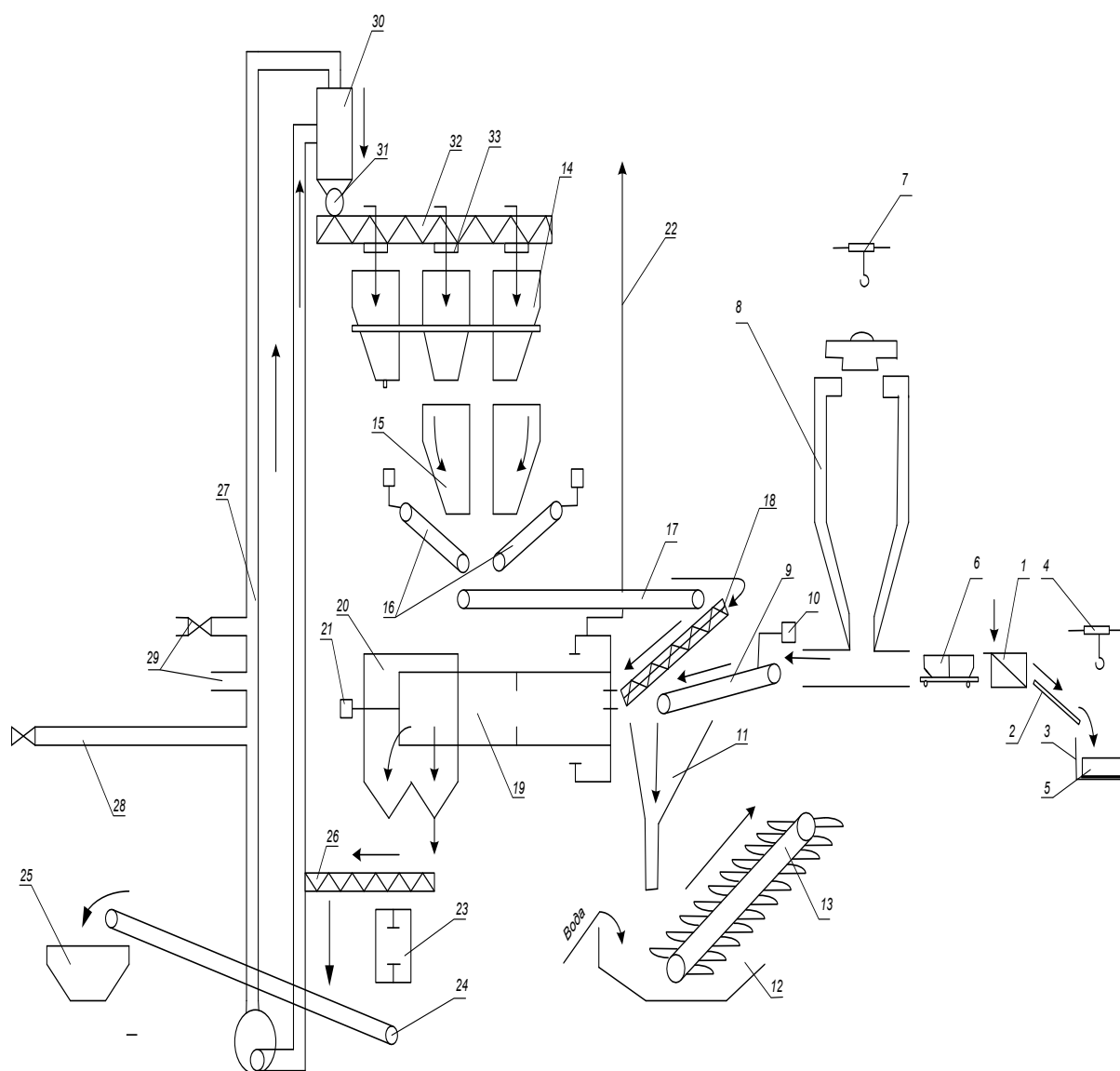
Гасильний вагон, після прийому коксу з коксової печі, подається до рампи установки, де кокс із вагона пересипається в чотири контейнери гарячого коксу. Далі контейнери транспортуються до бункера-накопичувача гарячого коксу, у який міститься близько 8 т коксу.

Вугільна шихта з вугільної башти вуглезавантажувальною машиною транспортується до установки й вивантажується в бункери початкової шихти.

Після наповнення бункера-накопичувача гарячим коксом і бункерів вихідної шихти запускається установка. Кокс, за допомогою штовхача, подається на колошниковий вібраційний грохот, з якого кокс, крупністю більше 25 мм, попадає в теплообмінник, а кокс крупністю менш 25 мм проходить крізь колошники й попадає у ванну гідророзв'язника, з якої скребковим конвеєром вивантажується в контейнер коксового дріб'язку.

Вугільна шихта з бункерів вихідної шихти за допомогою віброживильників, стрічкового дозатора й шнекового закидувача також подається в теплообмінник. Теплообмінник представляє собою барабан діаметром 1600 мм і довжиною 8000 мм, обертається зі швидкістю 8 зв/хв. У середині барабана є лопасті, які під час обертання сприяють перемішуванню шихти й коксу.

Шихта з коксом перебувають у контакті 6-8 хвилин. Між ними відбувається теплообмін, у результаті якого шихта нагрівається до температури 130 °С, а кокс охолоджується до 250 °С. Рівень нагрівання шихти регулюється кількістю шихти, що подається в барабан за допомогою діафрагм.



1 - гасильний вагон; 2 - рампа установки; 3 - конвеєр гарячого коксу; 4 - підйомник рамповий; 5 - візок прямка; 6 - візок підйомника; 7 - підйомник; 8 - бункер накопичувач гарячого коксу; 9 - вібраційний гуркіт; 10 - вібратор; 11 - вирва коксового дріб'язку; 12 - ванна гидровивантажувача; 13 - скребковий конвеєр; 14 - завантажувальний вагон; 15 - бункер вихідної шихти; 16 - віброживильник; 17 - стрічковий живильник; 18 - шнековий закидувач; 19 - теплообмінник; 20 - барабанний гуркіт; 21 - привод відкриття діафрагми; 22 - свіча; 23 - розвантажувальний пристрій коксу; 24 - стрічковий конвеєр; 25 - бункер готового коксу; 26 - шнек гарячої шихти; 27 - контур пневмотранспорту; 28 - підживлення з бора; 29 - система заповнення; 30 - циклон; 31 - турнікет; 32 - шнек-роздавальник; 33 - патрубки із секторними затворами

Рис.2.3. Схема сполученого процесу термічної підготовки шихти й сухого гасіння коксу

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5,6]

Барабан закінчується барабанним гуркотом, обладнаним шпальтовими ситами з розміром отворів 10 мм. На ситах відбувається розподіл матеріалів.

Охолоджений кокс через розвантажувальний пристрій попадає на стрічковий конвеєр і далі в бункер охолодженого коксу.

Нагріта шихта шнеком гарячої шихти подається в контур пневмотранспорту, звідки через циклон, шнек-роздатник і патрубки із секторними затворами попадає в бункери вуглезавантажувального вагона.

Завантажувальна частина теплообмінника обладнана дросельною заслінкою, що забезпечує підтримку тиску парогазової суміші в теплообміннику в межах 5-8 мм вод.ст. і вивід її через свічку в атмосферу.

Таким чином, технологічна установка термічної підготовки шихти гарячим кусковим коксом характеризується як найбільш ефективною для сировинної бази коксохімічного виробництва «АрселорМіттал Кривий Ріг», що дозволить поліпшити якісні показники вугільної шихти (таблиця 2.2-2.3). Зниження показника M_{10} на 1 % обумовлює зниження витрат коксу на 2,8 % і збільшує продуктивність доменної печі на 2,8 % [14].

Таблиця 2.2

**Вплив термopідготовки на якісні показники вугільної шихти
(ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»)**

Технологічний параметр вугільної шихти	Початкове / Базове значення	Значення після термopідготовки / Зміна	Технологічний ефект
Вологість шихти	8–9 %	1,0–1,4 %	Глибока сушка, зниження витрат тепла на випаровування вологи в печі.
Вихід летких речовин	—	Зниження в середньому на 0,5 %	Часткова дегазація та оптимізація компонентів шихти.
Товщина пластичного шару	—	Зменшення на 1 мм	Зміна спіклівості для формування більш однорідної структури коксу.
Вміст дрібних класів (менш 3 мм)	—	Збільшення на 10 %	Підвищення дисперсності та ступеня подрібнення шихти.
Вміст коксового дріб'язку після барабана	—	Більше 2 %	Свідчить про оптимальну інтеграцію відсіву теплоносія в об'єм шихти [8].

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Таблиця 2.3

Вплив термopідготовки на якість коксу та ефективність доменної плавки

Показник якості коксу	Отримане значення	Економічний та технологічний вплив на доменну плавку (ефект від зміни на 1 %)
Механічна міцність M_{25}	87,6 %	Підвищення показника M_{25} на 1 % дозволяє: Знизити витрати коксу в доменній плавці на 0,6 %; Підвищити продуктивність доменних печей на 0,6 %.
Стираність коксу M_{10}	6,8 %	Зниження показника M_{10} на 1 % забезпечує: Зниження витрат коксу на 2,8 %; Збільшення продуктивності доменної печі на 2,8 %.
Вихід металургійного коксу	Збільшення на 4-6 %	Пряме підвищення корисної продуктивності коксових батарей та виходу цільового товарного продукту для доменного цеху.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

2.1.3 Дослідження ефективності технологічного процесу спільного здійснення термічної підготовки шихти і гасіння коксу

Розроблений ВУХІНом новий теплотехнічний процес дозволяє сполучити в одному апараті операції попереднього підігріву вугільної шихти, що направляється на коксування, і охолодження розпеченого коксу. Техніка й технологія комбінованого процесу були досліджені на крупній дослідно-промисловій установці продуктивністю 12 т/год по шихті й 9,2 т/год по коксу; нагріту шихту коксували в промислових коксових печах об'ємом 21,6 м³. Вивчені в умовах досвідченої установки закономірності тепло- і масообміну між вугільною шихтою й коксом дозволило створити математичну модель, що забезпечує можливість розрахунку й проектування теплообмінників для конкретних промислових установок [9].

Водяні пари з теплообмінника проходять циклон, де очищаються від пилу, а потім конденсуються. Конденсат може передаватися в зворотний цикл технічного водопостачання або на біохімічне очищення. Гази, що не сконденсувалися, доцільно повертати в прямий коксовий газ перед первинними газовими холодильниками. Запропонований спосіб завантаження термopідготовленої шихти в пічні камери коксових батарей забезпечує повну відсутність шкідливих викидів в атмосферу. Металургійний кокс, отриманий

при спільному процесі, у порівнянні із традиційним способом, характеризується більш високою кусковою й структурною міцністю 89,8 % (збільшення показнику механічної міцності M_{25} на 1,7 %), меншою стиранністю 6,0 % (зменшення показнику стиранності M_{10} на 0,9 %), й більш рівномірний по крупності.

Кокс нового процесу має меншу реакційну здатність і термічну активність, а також більшу насипну щільність. Поліпшення якості коксу в спільному процесі досягається як за рахунок як термічної підготовки вугільної шихти перед коксуванням, так і завдяки оптимальним температурним умовам охолодження й м'якій механічній обробці коксу при контакті із шихтою.

Техніко-економічні показники процесу представлені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Техніко-економічні показники процесу

Продуктивність установки по вологій вугільній шихті, т/год	100-200
Температура нагрітої шихти, °С	110-140
Температура охолодженого коксу, °С	150-200
Насипна щільність, кг/м ³	850-860
Витрата тепла на коксування, усього, МДж/т шихти	2170-2180
Витрата електроенергії, кВт год/т шихти	20,0
Тривалість коксування, година	12,5-13,0
Питома кількість шкідливих речовин в технологічних газах, до конденсації, г/т коксу:	
феноли	1,8
аміак	3,7
оксид вуглецю	65,1
ціаністий водень	0,9
Вміст вугільного пилу в технологічних газах, г/м ³ :	
після теплообмінника	≤0,1

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [10]

Впровадження запропонованої технології дозволило отримати наступні результати:

- щільність насипної маси вугільної шихти збільшується з 0,720 до 0,855 т/м³ у перерахуванні на сухе вугілля [10];
- показник механічної міцності M_{25} збільшується на 1,7 % і досягає 89,8 % [11].
- показник стиранності M_{10} зменшується на 0,9 % і становить 6,0 %.

- збільшується продуктивність коксових батарей на 26 % за рахунок:
 - а) збільшення насипної маси вугільного завантаження;
 - б) зменшення періоду коксування до 12,5 ч.
- вихід металургійного коксу збільшується на 4-6 %.
- запропонований спосіб завантаження термічно - підготовленої шихти в пічні камери коксових батарей забезпечує повну відсутність шкідливих викидів в атмосферу; знижується кількість шкідливих викидів на стадії коксування;
- знижується витрата тепла на коксування;
- забезпечується більш висока рівномірність прогріву полідисперсної маси вугільних часток;
- знижується реакційна здатність коксу, отриманого з термічно-підготовленої шихти;
- процес має всі переваги технології сухого гасіння коксу:
 - а) забезпечує ізотермічну витримку коксу після видачі із пічних камер;
 - б) сприяє ліквідації термічного удару при охолодженні;
 - в) забезпечує утилізацію фізичного тепла коксу.

Порівняно з відомими розробками, що поєднують сухе гасіння коксу і термічну підготовку вугільної шихти з використанням циркулюючого газу, процес забезпечує:

- економію капітальних витрат;
- зниження чисельності обслуговуючого персоналу;
- зменшення витрати площі, яку займають установки;
- підвищення виходу валового коксу як у результаті ліквідації чаду на стадії гасіння, перегріву дрібних частинок на стадії термічної підготовки, так і за рахунок повернення на коксування коксового дрібняку;
- економію тепла на коксування (на 12 %) [13].

Всі зростаючі вимоги з довкілля охорони і пов'язане з цим зростання витрат на устаткування для очищення шкідливих викидів, примушують закривати старі коксові батареї, не дивлячись на наявність незадоволеного попиту на кокс. Суміщений процес дає унікальну можливість скоротити об'єм

шкідливих викидів за рахунок зупинки найбільш старих коксових батарей і при цьому зберегти на достатньо високому рівні задоволення потреб в коксі завдяки підвищенню продуктивності батарей, що залишилися, і зниженню витрати коксу на виробництво чавуну в результаті підвищення його якості.

Таким чином, розроблена технологія забезпечує інтенсифікацію процесу коксування, розширення його сировинної бази та підвищення якості коксу.

2.2 Порівняльна характеристика якісних показників вологої шихти та термічно-підготовленої шихти

На відміну від звичайної шихти, що має вологу 9 % та використовується у цей час для коксування, термічно-підготовлена шихта не містить вологи, має більш високу насипну щільність (0,85-0,89 проти 0,72-0,74 т/м³ вологої шихти) і характеризується меншою усадкою [12]. Зменшення усадочних властивостей термо-підготовленої шихти не робить негативного впливу на умови видачі коксу з печей. І хоча величина відходу коксового пирога з термічно - підготовленої шихти на 20-25 % менше, ніж у вологої, вона залишається цілком достатньою (6-7 мм) для безперешкодної видачі коксу. При видачі коксу, отриманого з термічно- підготовленої шихти, ампераж на коксовиштовхувачі збільшується всього на 7-10 %, що пов'язано зі збільшенням маси коксового пирога. Не зважаючи на більше, у порівнянні з вологою шихтою, разове завантаження печі (17,5-22 %) період коксування вугільної шихти, попередньо нагрітої до 120-130 °С , при однаковому рівні температур, в опалювальній системі, печей скорочується на 13,5-15 %, тому що, завдяки відсутності вологи в шихті та внесеному теплі в камеру коксування з нагрітою шихтою, теплоспоживання засипки істотно зменшується. Тобто, період коксування термічно-підготовленої шихти становить 12,5-13,5 годин.

Характерною рисою термічно-підготовленої шихти є більш рівномірний, у порівнянні з вологою шихтою, розподіл насипної маси завантаження в обсязі

камери коксування, що при відповідному регулюванні опалювальної системи печі дозволяє домогтися рівномірного прококсування коксового пирогу.

2.3 Якісні показники коксу з термічно - підготовленої шихти

Наслідком впровадження технології термічної підготовки вугільної шихти у виробничий процес є не тільки залучення в процес коксування слабоспівного вугілля, але й значне поліпшення важливих якісних показників коксу [13]. Так, у разі термічної підготовки шихти поліпшуються наступні характеристики коксу: реакційна здатність, термічна стійкість, газопроникність, сірчистість, а також характеристики M_{25} , M_{10} і пористість. Порівняльна характеристика зміни деяких якісних показників коксу при використанні методу термічної підготовки шихти наведена в таблиці 2.5.

Крім того, термічна обробка позитивно впливає на реакційну здатність, термічну стійкість коксу. Пористість коксу з термopідготовленої шихт знижується на 4-5 %.

Таблиця 2.5

Характеристика якісних показників коксу

Найменування показників	Кокс (звичайна шихта), %	Кокс із ТПШ, %
1	2	3
Механічна міцність (M_{25})	88,1	89,8
Стиранність (M_{10})	6,9	6,0
Сітовий склад, мм:		
+80	7,2	5,0
80 - 60	17,6	26,0
60 - 40	43,5	50,2
40 - 25	26,7	15,8
25 - 0	3,2	3,0
Масова частка робочої вологн (W^r)	>5	0,5
Вміст сірки (S^d_t)	1,68	1,2
Зольність (A^d)	10,5	10,0
Вихід летючих речовин (V^{daf})	1,1	0,8

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Також термічна підготовка вугільної шихти впливає на газопроникність насипної маси коксу: чим гірше співвідношення вугілля, тим більше збільшення

показника газопроникності. Наприклад, при термічній підготовці вугілля марок Г и ПС газопроникність насипної маси коксу збільшується відповідно на 23 й 13,6 %, у той час як термічна підготовка вугілля марки Ж сприяє збільшенню газопроникності коксу всього лише на 4 %. Немаловажне й збільшення виходу металургійного коксу від валового в наслідок використання термічної підготовки шихти (табл. 2.6). Таким чином, металургійний кокс, отриманий при спільному процесі, у порівнянні із традиційним способом, характеризується більш високою кусковою й структурною міцністю, меншою стираністю й більш рівномірний по крупності. Кокс запропонованого процесу має меншу реакційну здатність і термічну активність.

Таблиця 2.6

Вихід металургійного коксу від валового

Вид коксової продукції	Вихід від валового, %	
	Кокс (звичайна шихта)	Кокс із ТПШ
Доменний кокс (+25 мм)	91,70	94,00
Коксовий горіх (25-10 мм)	2,90	2,57
Коксовий дріб'язок (10-0 мм)	5,40	3,43

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Поліпшення якості коксу в спільному процесі досягається за рахунок як термічної підготовки вугільної шихти перед коксуванням, так і завдяки оптимальним температурним умовам охолодження й м'якій механічній обробці коксу при контакті із шихтою.

2.4 Завантаження коксових камер термічно підготовленою шихтою

Завантаження термічно підготовленої вугільної шихти має певні складності, тому що шихта нагріта до температури 150-200 °С. Ускладнюється завантаження в камери коксування. На відміну від вологої шихти завантаження ТПШ має високий ступінь рівномірності розподілу її насипної щільності по

висоті камери коксування. Це обставина в сполученні зі зменшенням вертикальної усадки коксового пирога є причиною незадовільної рівномірності прогріву коксового пирога із ТПШ по висоті в діючих печах, призначених для коксування вологих шихт. Для забезпечення рівномірності прогріву коксового пирога необхідне вирівнювання температур по висоті опалювального каналу і приведення рівня завантаження шихти на діючих печах і рівня обігріву на печах відповідно до величини вертикальної усадки коксового пирога. Останнє необхідно для задовільного прогріву коксового пирога.

Транспортування і завантаження в коксові печі ТПШ є складним технічним процесом. Необхідно забезпечувати доставку її до печей, а також бездимне й безпиллове завантаження, вирішувати проблеми, пов'язані зі значним віднесенням вугільного пилу газами під час завантаження в газозбірники, захистом навколишнього середовища.

Завантаження сухої термopідготовленої шихти ведуться у двох напрямках: за допомогою вуглезавантажувального вагона та трубопровідне. При вагонному завантаженні нагрітої шихти, значне її пилювання викликає необхідність розробляти й виготовляти герметичні завантажувальні вагони. Вносити зміни в їхню конструкцію. Останні зразки вагонів оснащуються автономними пристроями для відсмоктування й очищення газів завантаження. Властива сухій шихті рухливість і аерируемість дозволяють завантажувати її в коксову піч без планування через два або один завантажувальний люки.

Сутність трубопровідного завантаження ТПШ складається в транспортуванні її перегрітою парою по трубах. Такий спосіб завантаження досліджується на Донецьком КХВ [15]. За кордоном проблему завантаження в камери коксування сухої шихти вирішують завантаженням по трубах, або спеціальними конвеєрами. Але при такому завантаженні зменшується щільність шихти в камері. На Західно-Сибірському металургійному комбінаті нагрівають вугільну шихту газовим теплоносієм у трубі-сушарці й застосовують спеціальні вагони для завантаження [16]. При сполученому процесі ТПШ і охолодження коксу нагріта шихта подається системою пневмотранспорту в накопичувальні

бункери й далі надходить на коксування. При пневмотранспорті насипна щільність вугільної шихти в коксовій камері збільшується незначно (на 4 %) у результаті вповільнення завантаження й розпушення при падінні шихти в камеру. У США, Німеччини, Японії й інших країнах застосовують три способи завантаження нагрітої шихти: Коултек - трубопровідне; Прекарбон - завантаження спеціальним ланцюговим конве'єром; Батнер, а також Симкар - завантаження герметизованим завантажувальним вагоном [16].

Способу завантаження нагрітої вугільної шихти в камери коксування в процесі виробництва коксу з термічно - підготовленої шихти належить досить важлива роль, тому що від нього залежать продуктивність батареї, якість коксу та екологічна картина процесу.

З погляду здійснення процесу завантаження термічно-підготовленої шихти варто виділити дві властивості, що відрізняють його від процесу завантаження вологої вугільної шихти: підвищена плинність і висока «парусність». Перша властивість є позитивною, і правильне використання цієї властивості дозволяє істотно спростити процес завантаження печей. Шихта по довжині камери коксування розтікається рівним шаром, у зв'язку із чим виключається необхідність в операції планування. Друга властивість, навпаки, ускладнює процес завантаження, тому що через підвищену «парусність» значна кількість сухого вугільного пилу при завантаженні несеться разом з газами завантаження в газозбірники. Змішуючись зі смолою, цей пил погіршує якість кам'яновугільної смоли та приводить до інтенсивного зафусовування газовідводної апаратури коксової батареї [12].

Таким чином, головна відмінність завантаження до камери коксування термічно підготовленої шихти від завантаження звичайної шихти полягає в необхідності забезпечувати доставку її до печей, а також бездимне й безпилкове завантаження, вирішувати проблеми, пов'язані зі значним віднесенням вугільного пилу „„П - зворот печей, год.

$$M_{ш}^r = \frac{2 \cdot 59 \cdot 30,9 \cdot 0,78 \cdot 8700}{15} = 1661000,0 \text{ тис.м} / \text{рік} \quad (2.1)$$

Робота теплообмінника складає, годин/рік:

$$R = d \cdot r, \quad (2.2)$$

де d - кількість днів у році;

r - кількість годин фактичної роботи теплообмінника; у цьому випадку

$r = 17$ годин.

$$R = 365 \cdot 17 = 6205 \text{ годин}$$

Знаючи продуктивність по шихті за рік і кількість відпрацьованих теплообмінником годин, можна визначити, скільки шихти переробляється теплообмінником у годину:

$$1661000/6205 = 266 \text{ т/г.}$$

За умови, що даний барабан-теплообмінник має продуктивність 100 т/г, можна визначити необхідну кількість таких барабанів:

$$266/100 = 2,7 \sim 3 \text{ шт.}$$

Таким чином, для забезпечення заданої продуктивності в 1,661000 млн. т/рік по шихті, потрібно наявність трьох працюючих барабанів-теплообмінників й одного резервного.

Для споживачів доменного коксу впровадження технології суміщених процесів термічної підготовки вугільної шихти та охолодження коксу дозволить поліпшити якісні показники коксу [16]:

- показник M_{25} збільшиться на 2,5 %;
- показник M_{10} зменшиться на 1,5 %;
- збільшиться продуктивність коксових печей на 18 % за рахунок збільшення насипної щільності шихти та зменшення періоду коксування; (розрахунок); знизяться витрати коксу в доменних печах(визначається за розрахунком); збільшиться вихід металургійного коксу.

Застосування технології суміщених процесів термічної підготовки вугільної шихти та охолодження коксу, дасть можливість використання більш дешевого вугілля, в результаті має зменшитись заготівельна вартість вугілля.

2.5 Заходи із охорони праці та безпеки життєдіяльності

2.5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Актуальність формування ефективних систем охорони праці особливо велика для тих галузей економіки, яким властиві високі рівні професійного ризику: виробничого травматизму і професійної захворюваності. Гірничо-металургійна промисловість входить до числа таких галузей економіки.

Основою законодавства України щодо охорони праці є Конституція України, що гарантує громадянам України право на працю і її безпеку. Реалізація цього конституційного права підтримується законом України «Про охорону праці», дія якого поширюється на всі підприємства, установи й організації незалежно від форм власності й видів їхньої діяльності.

Реальні виробничі умови характеризуються наявністю шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Тому завданням охорони праці є звести до мінімуму ймовірність травматизму або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Таким чином, керування охороною праці дозволяє підходити комплексно до підготовки, прийняття та реалізації рішень, спрямованих на забезпечення безпеки, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці [15].

Випускна робота передбачає проектування установки суміщених процесів термічної підготовки вугільної шихти і охолодження коксу вуглекоксового блоку КХВ ПАТ «АМКР».

Потенційно небезпечними та шкідливими виробничими факторами на установці є: вугільний пил, феноли, аміак, ціаністий водень, сірководень і окис вуглецю. Також небезпеку для людського життя можуть представляти:

- пересувні частини виробничого устаткування;
- збільшена температура поверхонь устаткування і матеріалів;
- напруга в електричній мережі, замикання якої може являти загрозу для людського життя;

- недостатня освітленість робочих зон;
- шум, створюваний при русі устаткування й механізмів.

Більшу небезпеку являє собою вугільний пил, що є шкідливою речовиною й по ступеню впливу на організм людини ставиться до 4-му класу небезпеки [15]. Вугільний пил перебуває в бункері-накопичувачі вихідної й термічно підготовленої шихти, також в азоті, що циркулює в контурі пневмотранспорту та водяних парах, що перебувають у теплообмінному апараті та грохот для розсіву гарячого коксу. Токсичні властивості пилу проявляються при тривалому впливі на організм людини й можуть викликати захворювання. Також можливі хронічні захворювання шлунково-кишкового тракту, а при паданні на шкіру виникає почервоніння, і розвиваються дерматити [16].

Вміст вугільного пилу в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично припустимі концентрації [16]:

- 10 мг/м³ (вугільний пил зі вмістом вільного двоокису кремнію менш 2 %);
- 4 мг/м³ (вугільний пил зі вмістом двоокису кремнію 2-10 %);

В вуглекоксовому блоку джерелами шумових навантажень на організм є робота устаткування: молоткові дробарки, дезінтегратори, грохоти, шестеренні передачі, віброживильники, вентиляційні установки, мотор генератори машинних залів, витоку повітря, а також робота іншого устаткування. Нормами допускається рівень промислового шуму в 80 дБ (А). На основних робочих місцях цеху має місце рівень звуку в 87 дБ (А) [17]. Джерелами підвищеного шуму в цеху є робота машин та механізмів. Виробничий шум, що перевищує допустимий рівень гучності, вібрація приводить до порушення функції слуху, погіршує самопочуття і працездатність людини.

Крім того, робота устаткування цеху супроводжується вібрацією. Вібрація небезпечний фактор, тому що може впливати на фізичний стан людини. Виробничі приміщення цеху освітлюються природним і штучним світлом. На освітленість значно впливає коефіцієнт відбиття стін, стелі, підлоги, устаткування й металоконструкцій. При спільному здійсненні термічної підготовки шихти й гасіння коксу відходами виробництва є водяні

пари, що утворюються в результаті випару вологи з вугільної шихти й при випарному охолодженні частини виробленого коксу. У цій парі втримуються вугільний і коксовий пил, феноли, аміак, окис вуглецю, ціаністий водень і сірководень. Також велика кількість окису вуглецю втримується в газоподібних продуктах, що витісняються з бункера-накопичувача розпеченого коксу під час його завантаження.

По ступеню небезпеки аміак ставиться до 3-го класу; феноли, ціаністий водень і сірководень - до 2-го класу; окис вуглецю - до 4-го класу. Всі ці речовини володіють поганою дією на організм людини: викликають головний біль, світлобоязнь, біль в очах, порушення нервової системи, кровообігу й подиху. Ціаністий водень всмоктується протягом декількох секунд через шлунково-кишковий тракт і легені, викликаючи отруєння, що виражається в: серцево-легеневій, кров'яній, нервовій, шлунково-кишковій системах [16].

Поразка електричним струмом на установці може виникнути в наступних випадках:

- від дотику до оголених проводів, а також при контакті з різним устаткуванням, що перебуває під напругою;
- від дотику до корпусів машин і щитам керування, які виявилися під напругою в результаті ушкодження ізоляції.

Надмірний шум також впливає на організм людини, викликаючи головний біль, ослаблення уваги. Установлено, що шум знижує світлову чутливість ока на 20 %.

Погана освітленість установок приводить до швидкого стомлення очей працівників, що, отже, багаторазово збільшує ймовірність травматизму; а надмірна освітленість викликає порушення функцій ока.

2.5.2 Заходи щодо зниження інтенсивності впливу шкідливих і небезпечних факторів на установці термічної підготовки вугільної шихти та гасіння коксу

Ефективним засобом боротьби із забрудненням повітря є природна вентиляція, тобто аерація. У літній період свіже повітря надходить в проліт цеху через аераційні прорізи в стінах будівлі.

Також для усунення шкідливого впливу вугільного пилу на організм людини передбачається забезпечення:

- ущільнення витяжних жолобів і кожухів приводних барабанів, конвеєрів, що транспортують вихідну шихту й охолоджений кокс;

- герметичності усього устаткування контуру пневмотранспорту, скребкового конвеєра нагрітої вугільної шихти, перекриття бункера-накопичувача нагрітої шихти, теплообмінного апарата й кожуха віброгрохоту для розсіву розпеченого коксу;

- надійності роботи підпірних пристроїв шнекових завантажників вихідної й нагрітої шихти;

- установлення парасолів над теплообмінним апаратом для відсосу парів, у випадку його витіку через ущільнення;

- устаткування бункерів-накопичувачів нагрітої вугільної шихти продувною свічою;

- забезпечення примусового відсосу із завантажувального пристрою бункера-накопичувача розпеченого коксу газоподібних продуктів, що витісняються, і скидання їх через свічу;

- ущільнення стрічкових конвеєрів, що транспортують вихідну шихту й охолоджених кокс;

- гідравлічне прибирання приміщень і території, на якій установлені теплообмінні агрегати;

- забезпечення приточно-витяжної вентиляції приміщень, у яких установлені скребкові конвеєра для нагрітої шихти, конвеєра для

транспортування охолодженого кускового коксу і автодозатор вихідної шихти [15]. Крім того, керування механізмами й агрегатами повинно бути дистанційним і повинна бути передбачена звукова сигналізація, що сповіщає обслуговуючий персонал про централізований пуск установки й про аварійні зупинки. А також при роботі на електричних приладах установки застосовуються індивідуальні засоби захисту (діелектричні рукавички, діелектричне взуття). Вугільний пил є основним забруднювачем повітря тому необхідно встановити циклони для його уловлювання.

2.5.3 Пожежна безпека

Проектована установка ставиться до категорії пожежної безпеки «Б». Вугільна шихта, що переробляється на установці термічної підготовки вугільної шихти, як вхідна, так і термopідготовлена в суміші з повітрям при концентраціях $> 63 \text{ г/м}^3$ є вибухонебезпечним матеріалом. Вона може також самозайматися, перебуваючи у зваженому стані в середовищі з концентрацією кисню $\geq 10 \%$ при температурі $\geq 560 \text{ }^\circ\text{C}$ [17].

При здійсненні технологічного процесу термічної підготовки вугільної шихти, остання, у зважений стан може переходити в наступних місцях:

- на транспортерах, що подають вугільну шихту до бункера-накопичувача вихідної шихти;
- у бункері-накопичувачі вихідної шихти;
- при надходженні на автодозатор, стрічковий конвеєр і шнековий завантажник;
- у теплообмінному апараті;
- у контурі пневмотранспорту;
- у бункері вуглезавантажувальної машини під час набору в неї шихти.

При розміщенні апаратів, у яких перебуває вугільна шихта в закритих приміщеннях, застосоване електроустаткування повинно бути у вибухобезпечному виконанні.

Пожежі на ділянці можуть виникати в результаті:

- спалахи електроустаткування при перевантаженнях, перегрівих, коротких замиканнях (класу пожежі - «Е»);
- спалах горюче-змащувальних матеріалів при попаданні в них іскри електричного або механічного походження, дії відкритого вогню (класу пожежі «В»);
- дія статичного або грозового розряду.

Будівля установки споруджено із залізобетону та відноситься до групи неспалених матеріалів і конструкцій з 2-им ступенем вогнестійкості. Мастильні, горючі та обтиральні матеріали зберігаються в спеціальних місцях, що відповідають вимогам протипожежної безпеки. Імовірність поразки будинків блискавкою зменшена застосуванням системи блискавко захисту 2-ої категорії. Статичний заряд відводиться в землю по мережі заземлення [16]. Для повідомлення пожежних підрозділів про виникнення пожежі на установці передбачено телефонний зв'язок і спеціальна пожежна сигналізація. Телефонний зв'язок здійснюється по телефонах загального призначення, або по спеціальній лінії, безпосередньо пов'язаної з пожежною частиною.

Пожежні гідранти розташовані на спеціальних площадках. Відстань від гідранта до місця укладання вугілля не перевищує 100 м. Передбачено 2 гідранти й 8 щити, та 8 ящиків з піском. У комплект одного щита входять: вогнегасники - 3 шт.; покривало з неспаленого матеріалу - 1 шт.; багри - 2 шт.; ломи – 2 шт.; лопати - 2 шт.; сокири - 2 шт.; цебра - 2 шт.

В виробничих будівлях вуглекоксового блоку вивішені плани евакуації людей, в яких вказані евакуаційні виходи і шляхи евакуації. Евакуаційні виходи виконані з матеріалів підвищеної вогнестійкості. Також є дороги для безперешкодного доступу пожежних підрозділів у разі виникнення пожежі.

Таким чином, в даному розділі приведена характеристика проектного об'єкту вуглекоксового блоку в умовах підприємства КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Проведена інженерна розробка конкретних, найбільш важливих заходів щодо охорони праці.

ВИСНОВКИ

У випускній роботі представлена технологічна схема спільного здійснення термічної підготовки шихти та сухого гасіння коксу, шляхом прямого теплообміну між шихтою й розпеченим коксом, що дозволяє одержати термічно- підготовлену вугільну шихту із шихт із підвищеним вмістом (до 70 %) слабоспікливого газового вугілля [16].

В аналітичній частині проведено аналіз новітніх технологій підготовки вугільної шихти. Розглянуто існуючі технологічні схеми термічної підготовки вугілля та їх вплив на навколишнє середовище. Дано обґрунтування сировинної бази коксування та проведено розрахунок матеріального балансу коксування.

В основній частині розроблено технологічний процес спільного здійснення термічної підготовки шихти й гасіння коксу. Визначено вплив технології на якісні показники коксу та на процес коксування взагалі. Переваги цієї технології полягають у можливості підвищення продуктивності коксових печей і поліпшення якості металургійного коксу. Впровадження пропонуємої технології дозволило отримати наступні результати:

- щільність насипної маси вугільної шихти збільшується з 0,720 до 0,855 т/м³ ,на сухе вугілля [16];

- показник механічної міцності M_{25} збільшується на 2,5 % і досягає 88,5 % [16].

- показник стиранності M_{10} зменшується на 1,5 % і становить 5,9 % [16].

- збільшується продуктивність коксових батарей на 26 % за рахунок [16]:

- а) збільшення насипної щільності вугільного завантаження;

- б) зменшення періоду коксування до 12,5 годин;

- вихід металургійного коксу збільшується на 4-6 % [16];

- запропонований спосіб завантаження термічно підготовленої шихти в пічні камери коксових батарей забезпечує повну відсутність шкідливих викидів в атмосферу; знижується кількість шкідливих викидів на стадії коксування;

- знижується витрата тепла на коксування;

- забезпечується більш висока рівномірність прогріву полідисперсної маси вугільних часток;

- знижується реакційна здатність коксу, отриманого з термічно-підготовленої шихти;

- процес має всі переваги технології сухого гасіння коксу:

- а) забезпечує ізотермічну витримку коксу після видачі із пічних камер;

- б) сприяє ліквідації термічного удару при охолодженні;

- в) забезпечує утилізацію фізичного тепла коксу [16].

Таким чином, розроблена технологія забезпечує інтенсифікацію процесу коксування, розширення його сировинної бази та підвищення якості коксу.

У розділі «Охорона праці» наведені вимоги безпеки та пожежна безпека при роботі установки у цеху .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Диденко В.Е. Технология приготовления угольных шихт для коксования: Учеб.пособие. - К.:Вища школа, 1989.-288 с.
2. Справочник коксохимика: Справ.изд./ А.К.Шелков.-М:Металлургия, 1964, 486 с.
3. Зашквара В.Г.,Дюканов А.Г. Подготовка углей к коксованию:Учеб.пособие.- М.:Металлургия,1981.-59 с.
4. Белошапка И.В., Линецкий Б.М., Соловьев Г.Д. Качество сырьевой базы коксования. Подготовка угольной шихты к коксованию и лабораторный контроль на коксохимическом производстве ОАО»АрселорМиттал Кривой Рог» // Кокс и химия.-2001.-№ 9.-С.18-20.
5. Васильев Ю.С.,Долгарев Г.В.,Гордиенко А.И. Расширение сырьевой базы и интенсификация процесса коксования благодаря термической подготовке шихты // Кокс и химия.-2003.-№ 11.-С. 11-13.
6. Семисалов Л.П. Термическая подготовка угольной шихты как способ расширения сырьевой базы коксования и улучшения качества кокса // Кокс и химия.-1990.-№ 6.-С. 22-23.
7. Грязнов Н.С.Основы теории коксования.-Учеб.пособие.М.:Металлургия.- 1976.-312 с.
8. Бабанин Б.И.,Бабанин В.И.,Пермяков Е.А. Экологическая характеристика совмещенного процесса термической подготовки угольной шихты и тушения кокса // Кокс и химия.-1985.-№ 12.-С. 11-13.
9. Бабанин В.И., Торяник Э.И., Сытенко И.В., Соловьев Г.Д.,Шатоха И.З. О пылеподавлении при реализации совмещенного процесса термической подготовки угольной шихты и сухого тушения кокса // Кокс и химия.-1991.-№ 6.-С. 40-42.
10. Бабанин Б.И. Совмещенный процесс термической подготовки шихты и тушения кокса // Кокс и химия.-1991.-№ 3.-С. 29-30.
11. Стахеев С.Г.,Забезинский Л.Д.,Ляхов Ю.Н. Исследование в области разка-

- ботки энерготехнологического агрегата для совмещенного процесса термической подготовки шихты и тушения кокса // Кокс и химия.-1992.-№ 2.-С. 36-38).
12. Малый Е.И. Термическая подготовка газовых углей // Metallургическая и горнорудная промышленность.-2008.-№ 6.-С. 16-18.
 13. Бабанин Б.И., Бабанин В.И., Пермяков Е.А. О формировании прочностных свойств кокса при совмещенном процессе термической подготовки шихты и тушения кокса // Кокс и химия.-1985.-№ 8.-С. 18-22.
 14. Динельт В.М., Школлер М.Б., Прошунин Ю.Е. Об эффективности использования термоподготовленной угольной шихты // Кокс и химия.-1988.- № 10.- С. 17-18.
 15. Васильев Ю.С., Гордиенко А.И., Долгарев Г.В. Опыт промышленного использования термической подготовки угольной шихты перед коксованием // Кокс и химия.-2008.-№ 7.-С. 22-25.
 16. Редин А.И., Гордиенко А.И., Долгарев Г.В. Результаты освоения и эксплуатации опытно-промышленной установки термической подготовки шихты на ОАО «Ясиновский КХВ // Кокс и химия.-2009.-№2.-С.30-36.
 17. Довідковий посібник керівника спеціаліста гірничо-металургійного підприємства з охорони праці: Навчальний посібник / В.О.Шеремет, О.І.Каракаш, В.Ф.Марунчак та інші. - Дніпропетровськ: ПП «Ліра ЛТД», 2005. - 850 с.
 18. Б.М. Злобинский «Охрана труда в металлургии». Москва: «Металлургия», 1975
 19. Л.В. Бабенко, С.Е. Сулименко «Методические указания по выполнению раздела «Охрана труда». Днепропетровск: НМетАУ, 2004 г.
 20. П.Т. Резниченко, А.П. Чехов «Охрана окружающей среды и использование отходов промышленности». Днепропетровск: «Промень», 1979 г.
 21. Н.Г. Брагинец, А.И. Батнаков, И.Г. Зельцер «Защита воздушного и водного бассейна от выбросов металлургических заводов». Москва: «Металлургия», 1980.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок
161-09д-д
Автор
161-09д-д

Науковий керівник / Експерт
Шмельцер К.О.

ІД документа
334137383

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Підрозділ
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту
6/2/2026

Дата редагування

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.

7.39%
7.39%
КП 1

0.47%
0.47%
КЛ 1

8977
Кількість слів

70694
Кількість символів

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	В	0
Інтервали	A	0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)	a	50

Джерела

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

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА (URL (НАЗВА БАЗИ))	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	https://myreferatik.in.ua/work/8149612/suhe-gasinna-koksu	85 (0.95 %)

Д О В І Д К А

про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- ☒ кваліфікаційної роботи;
- ☐ навчальної/наукової праці;
- ☐ наукових матеріалів

Розробка технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Іонова Юлія Володимирівна

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії,

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 55 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 7,39 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- ☐ власними публікаціями;
- ☒ термінологією;
- ☒ посиланнями на літературу, праці вчених;
- ☐ посиланнями на законодавство;
- ☒ загальноновживаними 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 «12» червня 2026 р. протокол №16.

Керівник підрозділу

(підпис)

К. Шмельцер

Дата «12» червня 2026 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА
про підготовку здобувача

Іонова Юлія Володимирівна
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії
Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна бакалаврська робота

Тема кваліфікаційної роботи Розробка технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження

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.				
2	Основна частина	Кормер М.В.				

Зав. кафедри

(підпис)

К.О. Шмельцер
(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Здобувача вищої освіти Іонової Юлії Володимирівни
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-23ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Розробка технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>55 стор.;</u>
таблиць	<u>13;</u>
схем і рисунків	<u>6;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра:

Кваліфікаційна робота вирізняється високим рівнем, пропонуючи ефективний метод інтеграції термічної підготовки шихти та охолодження коксу в єдиний замкнений цикл. Якісною відмінністю дослідження є обґрунтування можливості використання слабоспікливої сировини шляхом трансформації структури вуглецевої матриці, що є критично важливим для забезпечення металургійного виробництва в умовах дефіциту вугілля. Автором успішно доведено переваги застосування барабанного теплообмінника для реалізації енергоощадних процесів, що підтверджується досягненням високих показників міцності ($M_{25}=87,6\%$) та оптимізацією вологості готового коксу. Запропоноване технологічне рішення трансформує класичну коксову батарею у високоефективний термохімічний реактор, демонструючи значну економічну та технічну доцільність для сучасного коксохімічного виробництва.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра

Основними недоліками роботи є недостатня деталізація ризиків передчасного окиснення сировини в умовах прямого теплообміну та відсутність розрахунків зносостійкості металу барабана при тривалій експлуатації. Крім того, проект потребує глибшого економічного обґрунтування витрат на капітальну інтеграцію цієї установки в існуючий технологічний ланцюг металургійного підприємства.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання,

Під час роботи над кваліфікаційною роботою здобувачем зроблений глибокий аналіз існуючих літературних джерел, зроблені необхідні висновки, проаналізовано вплив різних факторів на термообробку антрациту. Ураховуючи складність обраної теми, можна вважати, що автор успішно впоралась з завданням та продемонструвала не лише глибокі знання в галузі, а також вміння аналізу та критичного мислення. Кваліфікаційна робота вимагала від автора високого рівня самостійності та професіоналізму у вирішенні поставленої проблеми

Здобувач Іонової Юлії Володимирівни 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 роботи бакалавра

Робота відповідає вимогам, що висуваються до кваліфікаційних робіт на першому (бакалаврському) освітньо-кваліфікаційному рівні може бути допущена до захисту на засіданні ЕК.

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра _____

Керівник Кормер Марина Віталіївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« ____ » _____ 2026 р.

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

(бакалавра, магістра)

Здобувача Іонової Юлії Володимирівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи ХТ-23ск	
Тема кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
Розробка технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження	
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
Дослідження технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження	
Переваги кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
Кваліфікаційна робота присвячена Дослідження технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження.	
Актуальність дослідження обумовлена погіршенням сировинної бази коксування, зростанням вимог до якості коксу.	
Недоліки кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
Обмежено розглянуто технологічні ризики промислового застосування.	
в оформленні та неточність перекладу.	
Рекомендації: робота виконана на актуальну тему, має практичну цінність, містить обґрунтовані результати і рекомендації, а зазначені недоліки не мають принципового характеру та не впливають на загальну позитивну оцінку.	
Робота може бути рекомендована до захисту.	
Рецензент	

(прізвище, ім'я та по-батькові)

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, *Іонова Юлія Володимирівна*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Розробка технології підготовки вугільної шихти для виробництва доменного коксу із суміщенням процесів термічної підготовки та охолодження») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений(на) з умовами такого розміщення.

12.06.2026