

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

Бессараба Владислава Юрійовича

*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

на тему Вивчення перспективності технологій термічної  
підготовки вугілля

*(повна назва теми)*

за матеріалами Техніко – економічні показники роботи КХВ ПАТ  
«АМКР»

*(повна назва бази дослідження)*

Науковий керівник к.т.н., доцент

*(наук. ступінь, вчене звання)*



*(підпис)*

Десна Н.А.

*(прізвище, ініціали)*

**Робота допущена до захисту в ЕК**

Протокол засідання кафедри

від 13.06. 2025 р. № 16

Завідувач кафедри



*(підпис)*

*Наук. ступінь, вчене звання Ініціали, прізвище*

Кривий Ріг – 2025

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)

Завідувач кафедри ЗАТВЕРДЖУЮ  
Хімічних технологій та інженерії  
Шмельцер К.О. доцент, к.т.н.  
(підпис) (посада, вчене звання,  
прізвище, ініціали)  
«2» червня 2025 року

### ЗАВДАННЯ

#### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Бессараба Владислава Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вивчення перспективності технологій термічної підготовки вугілля  
керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Десна Наталя Анатоліївна, к.т.н., доцент

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

- затверджені наказом вищого навчального закладу № 238-ст від «4» квітня 2025 р.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2025
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: фізико-хімічні основи процесу коксоутворення, вимоги до якісних показників і технологічних характеристик доменного коксу, характеристики сировинної бази коксування підприємства, основні технологічні прийоми термічної підготовки вугільних шихт, особливості технологічного оформлення процесу термічної підготовки вугільних шихт.
- 4.2 Основна частина: Вибір та обґрунтування технологічної схеми термічної підготовки вугільних шихт для коксування. Вивчення конструктивних параметрів устаткування та їх вплив на ефективність термічної підготовки вугільної шихти.
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	Десна Н.А., доцент	<i>Десна</i>	<i>Десна</i>
2 Основна частина	Десна Н.А., доцент	<i>Десна</i>	<i>Десна</i>

7. Дата видачі завдання «21» квітня 2025 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	30.05.25	
4.	Подання роботи до кафедри	02.06.2025	
5.	Захист роботи в ЕК	18.06.2025	

Здобувач

*Десна*  
(підпис)

*Гресько В. Ю.*  
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

*Десна*  
(підпис)

*Десна Н.А.*  
(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

Бессараб В.Ю. Вивчення перспективності технологій термічної підготовки вугілля. – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню технологій, що дозволяють розширити сировинну базу коксування, технологічним прийомам термічної обробки вугільної шихти, особливостям завантаження термічно підготовленої шихти та коксування.

В випускній кваліфікаційній бакалаврській роботі розглянуті основні технології термічної обробки вугільної шихти перед завантаженням в камеру коксування, проблеми зберігання, сегрегації та завантаження вугільної шихти позбавленої вологи або термічно підігрітої, якісні характеристик і технологічні властивості коксу з термічно підготовленої шихти різного марочного складу та властивостей.

На підставі аналізу змін які відбуваються з термічно підготовленою вугільною шихтою розглянуті технології її завантаження та конструктивні особливості обладнання для завантаження такої шихти для запобігання негативного впливу на кам'яновугільну смолу і навколишнє середовище.

Встановлено, що використання термічної підготовки вугільної шихти дозволяє отримувати високоякісний кокс, навіть із шихти з мінімальним рівнем товщини пластичного шару.

В кваліфікаційній роботі проведений аналіз рекомендаційних зміни конструктивних особливостей коксових батарей для коксування термічно підготовленої вугільної шихти та легкого переходу від коксування зволоженої (звичайної) вугільної шихти до термічно підготовленої.

*Ключові слова:* вугільна шихта, коксування, спіклівість, термічна підготовка, вуглезавантажувальний вагон, пиління.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Процес утворення коксу	9
1.2 Вимоги до якості коксу доменного	10
1.3 Сировинна база коксування	18
1.4 Шляхи розширення сировинної бази коксування	22
1.4.1 Використання добавок до вугільної шихти	23
1.4.2 Брикетування вугільної шихти	24
1.4.3 Трамбування вугільної шихти	24
1.4.4 Коксування вугілля без вловлювання хімічних продуктів	26
1.4.5 Виробництво коксу за технологією SCOPE 21	27
1.4.6 Технологія регулювання вологості вугільної шихти	29
1.4.7 Термічна підготовка шихти	31
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	32
2.1 Фізико-хімічні засади процесу термічної підготовки вугільної шихти	32
2.2 Завантаження термічно підготовленої вугільної шихти	35
2.2.1 Завантаження термічно підготовленої шихти вуглезавантажувальним вагоном	36
2.2.2 Трубопровідне завантаження термічно підготовленої шихти	39
2.3 Установка термічної підготовки шихти	41
2.4 Конструктивні особливості коксових батарей для коксування термічно підготовленої шихти	51
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

## ВСТУП

Підвищення вимог до якості коксу, викликане збільшенням обсягу доменних печей та інтенсифікацією доменної плавки, а також погіршенням сировинної бази коксування викликають необхідність подальшого вдосконалення технології приготування вугільних шихт для коксування.

У зв'язку із зазначеним великий інтерес представляє термічна підготовка вугілля перед завантаженням у камери коксування. Увага, яка приділяється цьому методу, пояснюється тим, що за його реалізації створюється можливість: значно інтенсифікувати процес шарового коксування - підвищити продуктивність коксових печей; використовувати в шихті для коксування значно більше слабоспінних вугілля; покращити техніко-економічні показники виробництва коксу за деякого підвищення його якості.

Крім зазначених основних переваг нового методу можна назвати зниження витрати теплоти на коксування, зменшення термічних ударів на вогнетривку кладку камер коксування, зниження навантажень на конденсаційну апаратуру хімічних цехів у зв'язку зі зменшенням кількості водяної пари в коксовому газі, а також значне скорочення кількості стічних вод.

Метод термічної підготовки вугілля перед коксуванням є одним із найефективніших серед інших нових методів інтенсифікації виробництва коксу. В даний час термічній підготовці піддаються вугільні шихти, хоча така підготовка перед коксуванням окремих компонентів шихти (наприклад, газового вугілля) за певних умов може виявитися також ефективною навіть при їх самостійному коксуванні.

Метою даної роботи є розгляд технологій які дозволяють розширити сировинну базу коксування коксохімічних заводів, аналіз існуючих технологій в світі та можливість застосування на підприємствах України.

Предметом дослідження є технології термічної підготовки вугільної шихти для коксування, їх переваги та недоліки та перспективність застосування.

Об'єктом роботи є процес підготовки вугільної шихти низької спікливості, який дозволить отримувати кокс високої якості на рівні зі світовими виробниками.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Процес утворення коксу

Перетворення вугільної шихти в кокс є тепловим процесом, який відбувається без доступу повітря. Цей процес характеризується складними хімічними, фізичними і фізико-хімічними перетвореннями при термічній деструкції вугільного завантаження на окремих стадіях процесу коксоутворення.

Весь процес утворення коксу можна розподілити на п'ять стадій в залежності від температури.

Перша стадія, яка відбувається до 200 °С, характеризується випаровуванням води що знаходиться у вугіллі. Одночасно з цим вивільняються адсорбовані гази з поверхні вугілля і його пор такі як діоксид вуглецю, метан, тощо. Цю стадію найчастіше називають сушкою.

Другою стадією утворення коксу є процес який відбувається за температури 200 – 350 °С. Протягом цієї стадії утворюється небагато горючих газів, парів води (продуктів розкладання вугілля) і смоли. Під кінець цієї стадії спостерігається «розм'якшення» вугілля, на зернах утворюється плівка рідких продуктів розкладання – це початкова стадія розкладання.

Третьою стадією, яка відбувається при температурі 350 – 500 °С (температура залежить від властивостей вугілля) відбувається інтенсивне утворення пластичної маси, активне фізико-хімічне і хімічне перетворення. Саме в цей період утворюється найбільша кількість летких продуктів, які взаємодіють з поверхнею пластичної маси, між собою з утворенням смол і газів. Цю стадію називають стадією пластичного стану.

Четвертою стадією, яка відбувається при температурі 500 – 600 °С, утворюється значно менша кількість смол і інших летких продуктів, а пластична маса починає тверднути з утворенням напівкоксу. Цю стадію називають стадією напівкоксування.

П'ята стадія, яка відбувається при температурі 600 – 1000 °С, утворюється міцний твердий залишок – високотемпературний кокс. В цей період утворюється і виділяється незначна кількість смол, багатоциклічних ароматичних вуглеводнів і водень. Кокс відділяється від стінок камери, утворюються тріщини вертикальні і горизонтальні, що призводить до утворення окремих шматків коксу, що розділяться після видачі його з камери коксування.

Можливість утворення якісного коксу залежить від швидкості і протікання всіх стадій, особливо третьої і четвертої, хоча кінцева температура процесу має значний вплив на якість коксу.

Спикання тісно пов'язано з процесом розкладання вугілля. В результаті підвищення швидкості нагріву і змін кінетики процесу розкладання вугілля знизиться в'язкість пластичної маси, а наслідком буде зміна структури і міцності коксу.

Процес високотемпературного коксування відбувається в камерних печах і має одночасно всі стадії, які виникають в різних шарах вугільного завантаження по ширині камери коксування.

## **1.2 Вимоги до якості коксу доменного**

Якість коксу – його металургійні властивості, є ефективним засобом підвищення екологічної безпеки коксохімічного та доменного виробництва, що обґрунтовано, можливим скороченням споживання, а, отже, потребує виробництва коксу покращеної якості (Табл. 1.1). Металургійні властивості коксу характеризують, перш за все, показники його холодної та гарячої міцності, гранулометричний склад, а також вміст у коксі сірки, золи, летких речовин та вологи. Періодично контролюють вміст фосфору (його рівень 0,01-0,02%). Виконують елементарний аналіз речовини коксу на вміст у ньому вуглецю, водню, кисню, азоту та інших елементів [1].

Таблиця 1.1

**Вплив показників якості коксу на його питому витрату та продуктивність при виплавці чавуну**

Показники якості коксу	Зміна показників	Поліпшення показників доменної плавки	
		Зниження питомої витрати коксу, %	Підвищення продуктивності, %
Вміст золи	Зменшення на 1%	1,2-1,5	0,8-1,5
Вміст сірки	Зменшення на 0,10%	0,8-1,5	0,7-1,2
Вихід летких речовин	Зменшення на 1%	0,2-0,5	0,2-0,5
Показники холодної міцності коксу M25	збільшення на 1%	0,6	0,6
Показник стираності M10	зменшення на 1%	2,8	2,8
Вміст у коксі фракції менше 10мм	Зменшення на 1%	0,5-0,7	0,5-0,7
Показник гарячої міцності коксу CSR	Збільшення на 1%	0,25	0,8
Показники зольності та вологості коксу	Збільшення на 20-40% маси коксу з мінімальними коливаннями показників якості $\pm 0,1\%$ зольності та $\pm 0,3\%$ вологості	0,4-0,8	0,4-0,8

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1, 2]

Вміст сірки в коксі залежить переважно від сірчистості шихти. Донецьке вугілля, переважно має високий вміст сірки (1,9-2,2%), тому для зниження вмісту сірки в шихти, багато років у вугільну шихту українських заводів включають імпортоване вугілля із вмістом сірки всього 0,3-0,8% і лише з цієї причини її вміст у коксі не перевищує 1-1,5%. Ступінь видалення сірки із вугілля в процесі коксування становить 25-55 % і вище. Чим вище ступінь метаморфізму вугілля, тим більша частка сірки переходить у кокс, проте тим вище вихід валового коксу з маси високометаморфізованого вугілля, тому відношення сірчистості коксу до сірчистості 0,8-0,85. Кокс є головним джерелом сірки у чорній металургії, на боротьбу із сіркою у виробництві чавуну та сталі витрачають великі ресурси. Основним способом обмеження надходження сірки в метал є максимально можливе використання у виробництві коксу малосірчистого вугілля [2].

Вміст золи у вугільній шихті залежить від природної зольності та ступеня збагачення вугілля. У 2003-2008 рр. зольність вугільної шихти українських заводів вдавалося знизити лише на 0,2-0,4 % за її абсолютної величини 8,5-8,7%. Зменшення зольності коксу хоча б на 0,5 % відкриває суттєві можливості щодо його економії.

Вихід летких речовин з коксу (0,8-1,2 %) характеризує ступінь його готовності та залежить від тривалості та температури коксування. При високому виході летких, більше 1,2 %, а отже - недостатньої готовності коксу спостерігається підвищена стирання продукту.

Леткі речовини коксу містять, %: 13,2 CO<sub>2</sub>; 24 CO; 1 CH<sub>4</sub>; 39,5 H<sub>2</sub>; 22,3 N<sub>2</sub>, тоді як леткі речовини вугілля - це близько 20 паро-і газоподібних речовин продуктів термічного піролізу.

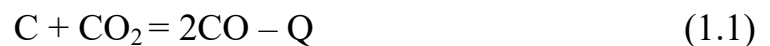
У режимі коксування необхідно забезпечувати оптимальний вихід летких із товарного коксу.

Вологість коксу не має перевищувати 5 %. Ця нормована величина має зв'язок із мокрим гасінням коксу. Високі значення вологості, та її різкі коливання погіршують показники доменної плавки і витрати коксу та впливають на

продуктивність процесу. Кожному відсотку вологи відповідає зміна витрати коксу на 0,1 %.

Перехід на сухе гасіння коксу крім ефективної стабілізації вологості на рівні 0,2-0,4 %, зумовив зростання міцності коксу та її загальну економію на рівні 2,3% (близько 11 кг/т чавуну).

Показникам міцності та гранулометричного складу коксу приділяють максимальну увагу фахівці коксового, а особливо – доменного виробництва, оскільки саме ці показники мають найбільший вплив на результати виплавки чавуну. Міцність пористих шматків коксу, неминуче уражених деякою тріщинуватістю, проявляється в умовах впливу на них в доменній печі роздавлюючих, дроблячих, стиральних зусиль, за високої температури і взаємодії вуглецю коксу з вуглекислим газом по ендотермічній реакції:



Міцність коксу характеризується показниками «холодної» міцності механічної міцності  $M_{25}$  ( $M_{40}$ ) та стираності  $M_{10}$  і «гарячої» міцності реакційної здатності і післяреакційної міцності.

При оцінці холодної міцності імітують умови руйнування коксу при перевантаженнях в спеціальному лабораторному барабані, що обертається, діаметром і довжиною 1000 мм з чотирма полицями всередині. У барабан завантажують 50 кг коксу більшістю більше 25 мм і після 4 хв обертання з частотою  $25 \text{ хв}^{-1}$  (100 оборотів) виконують ситовий аналіз продукту руйнування. Вихід класу понад 25мм,  $M_{25}$  – це показник опору удару, роздавлюванню (бажаний рівень 85-90 %). Вихід класу менше 10 мм -  $M_{10}$  - це показник стирання коксу (бажаний рівень не більше 6-8%).

При визначенні гарячої міцності коксу відповідно до міжнародного стандарту ISO 18894 імітують умови його руйнування всередині доменної печі і таким чином визначають відомий показник CSR (гарячої міцності) та паралельно – показник реакційної здатності CRI. Рівні показників гарячого випробування

для хорошого коксу: CSR – 60-70%; CRI – менше 22-30%. Існує зворотний пропорційний зв'язок між цими показниками: що менше CRI, то вище CSR, отже реакційна здатність коксу має бути невисокою.

Гранулометричний склад доменного коксу більше 25 мм зазвичай представлений показниками (Табл. 1.2).

Таблиця 1.2

### Середній гранулометричний склад доменного коксу

Класи крупності, мм	Вміст, %
понад 80	до 10
60-80	20-30
60-40	30-55
25-40	15-20

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1, 2]

Отже, частка класів 40-80 мм може становити 50-85% чи з середнім значенням класів 50-70 мм – близько 67 %, тобто, це основна частина маси коксу, що «функціонує» в доменній печі.

Кокс фракції більше 80 мм має найменшу міцність, тому при багатостадійному гуркотінні коксу у відділенні заводської коксортувальні прагнуть обмежити крупність товарного коксу діапазоном 25-60мм.

У зв'язку з надзвичайно різким зростанням вимог доменного виробництва до міцності і ситового складу коксу, обумовлених газодинамічної специфікою коксозамінної технології вдування в доменні печі вугільного пилу, стає доцільною додаткова механічна обробка найбільших фракцій валового коксу (60-80 і більше мм). В результаті такої обробки вихідний, уражений тріщинами або недопалом валовий кокс, руйнується, стабілізується його міцність та гранулометричний склад. Після багатостадійного гуркотіння стабілізованого коксу на коксохімзаводі та в доменному цеху, ймовірність утворення дрібних коксових фракцій по ходу доменної плавки різко знижується. Вихід товарного металургійного коксу з валового продукту після такого сортування, природно,

знизиться. Однак економічні втрати від подрібнення коксу, напевно, компенсуються за рахунок значного поліпшення газопроникності стовпа доменної шихти, зниження витрати коксу та збільшення виплавки чавуну [3-10].

В останні роки (2008-2010 рр) на деяких заводах Донбасу кокс підвищеної якості "преміум" стали отримувати з вугільної шихти незвичайного складу, в якій частка вугілля марок К і Ж перевищує 90% (у звичайній шихті їх 48-53%), решта - тільки вугілля марки СС1. Період коксування шихти сягав 19 годин, тобто, швидкість процесу спікання становить лише 10-12 мм/г, при звичайній 20-25мм/г. Гаряча міцність коксу (показник CSR) при цьому зростає від 40-45 до 54-57%, реакційна здатність знижується до 25-30% [4, 5].

Додатково слід зазначити деякі можливості підвищення гарячої міцності коксу за рахунок оптимізації режиму коксування, хімічної та іншої обробки товарного продукту:

1. Швидкість нагрівання вугільної шихти повинна бути невеликою, щоб утворена пластична маса встигла просочити шар, що спікається.

2. При коксуванні потрібно регулювати внутрішньосхарове тиск розпирання на оптимальному (10-20КПа) рівні, що забезпечує достатнє ущільнення пластичної маси. Таким регулятором є склад вугільної шихти: вугілля марок К та ОС дають в'язку пластичну масу та високий тиск розпирання (50-70 КПа), при якому можлива навіть деформація стінок камер коксування. Мало в'язка, рухома пластична маса вугілля марок Г і Ж обумовлює низький тиск (3-5 КПа).

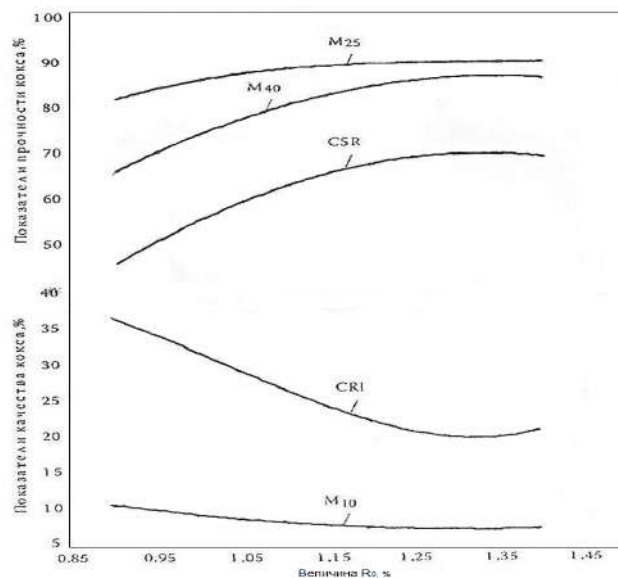
3. У широких камерах коксування (420-500мм) краще регулюється газовий тиск розпирання, зменшується швидкість коксування в центрі, сприяючи підвищенню гарячої міцності коксу осьових зон, де її показник завжди гірший.

4. Донецьким інститутом вуглехімії НАНУ та ДонНТУ отримано позитивні результати щодо збільшення на 14,7% показника CSR (до 57%) та зменшення на 10,5% показника CRI (до 27,8%) за рахунок зрошення поверхні шматків товарного коксу розчином тетраборату натрію) [4]. Ця нешкідлива неорганічна речовина гальмує реагування вуглецю коксу з CO<sub>2</sub>. Іноді в технічній

літературі відзначають недосконалість методики оцінки якості коксу показниками CSR і CRI [5], в якій на думку автора, не враховується складний рух шматків коксу всередині доменної печі і тому плавки та показниками гарячої міцності коксу. Незважаючи на це, останніми роками увага до показників CSR та CRI залишається підвищеною: саме їм присвячено безліч дослідно-промислових досліджень.

Наведемо деякі цікаві відомості співробітників УХІНа про визначальні фактори та можливі рекомендації щодо покращення CSR – показника гарячої міцності коксу та інших його показників якості:

1. Гаряча, так звана післяреакційна міцність шматків коксу крупністю 19-22,4 мм після їх перебування при температурі 1100<sup>0</sup>С в струмі CO<sub>2</sub> залежить в основному від: петрографічної характеристики вугілля – показника світлового відображення R<sub>0</sub> вітриніту (основного компонента вугільного речовини), що вказує на ступінь метаморфізму вугілля; вмісту в шихті коксівного та спікаючого вугілля; хімічного складу золи шихти На рис. 1.1 показано, що максимальна міцність коксу досягається при коксуванні вугілля, що має підвищений ступінь метаморфізму (R<sub>0</sub> = 1,3-1,4)



**Рис. 1.1 Залежність якості коксу від ступеня метаморфізму вугілля (показника відображення вітриніту R<sub>0</sub>): M40, M25 – вихід класів понад 40 та**

25 мм, % після випробування коксу класів +40 та +25 мм у барабані; CSR – вихід класів понад 10 мм після випробування коксу; CRI – реакційна здатність, %.

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7, 8]

2. Підвищення коксівності шихти забезпечує пропорційне зростання якості коксу за показниками  $M_{40}$ ,  $M_{25}$ ,  $M_{10}$ , CSR та CRI.

3. Чим вище петрографічна неоднорідність вугілля шихти, тим нижча якість коксу.

4. Збільшення більш ніж удвічі періоду коксування сприяє майже лінійному покращенню показників CSR та CRI (рис. 1.2)

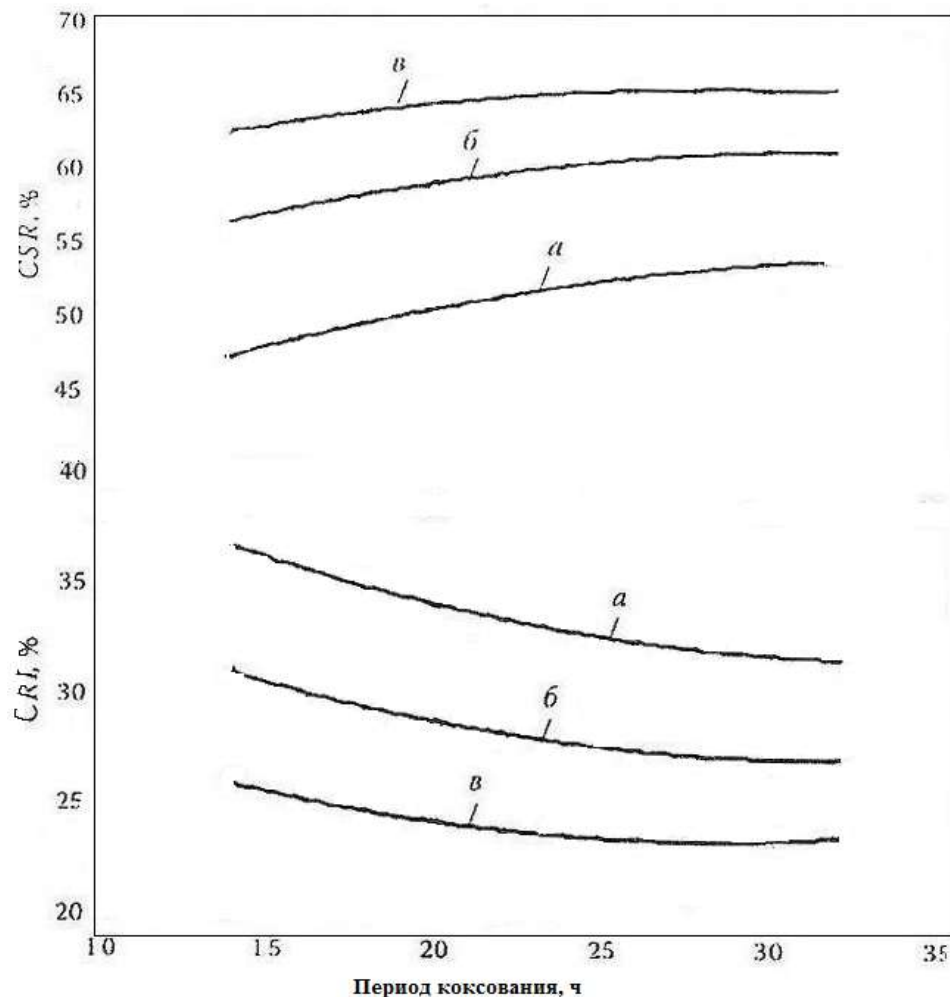
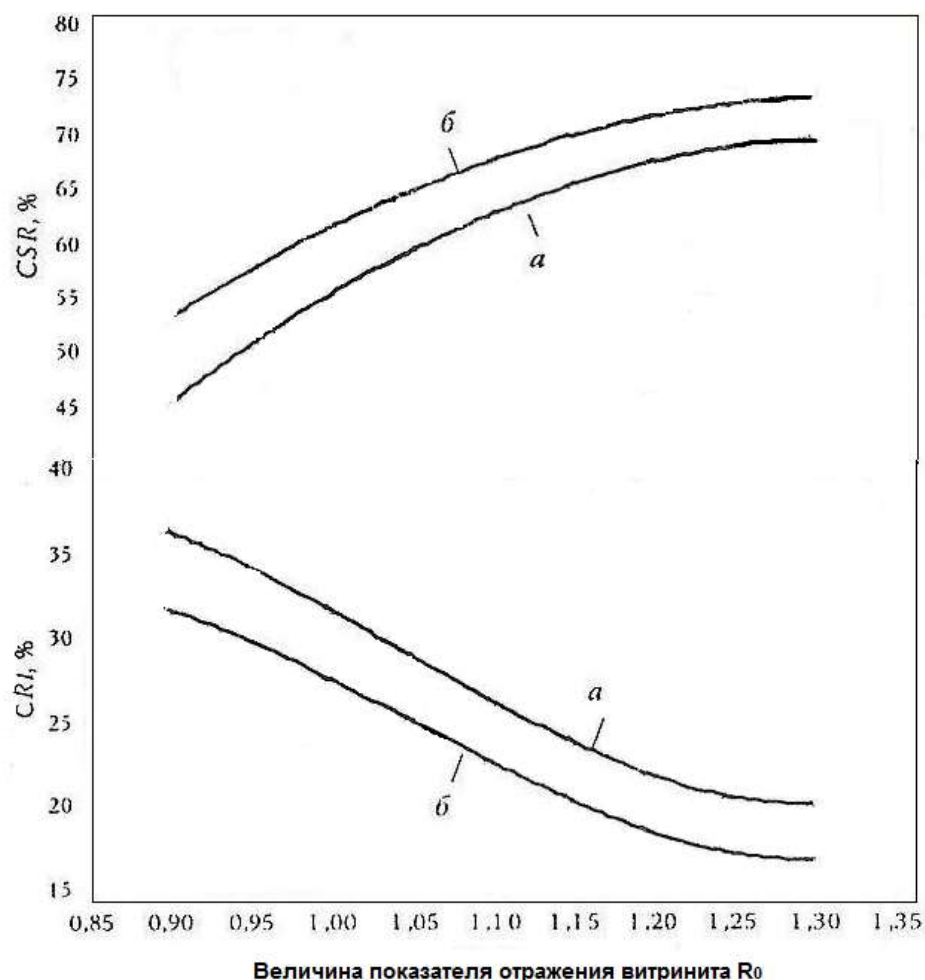


Рис. 1.2 Вплив періоду коксування на показники якості коксу: а, б, в – показник  $R_0$  відповідно 0,95; 1,05; 1,15%

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7, 8]

5. Показники якості коксу CSR та CRI суттєво (на 5-7%) покращуються при заміні мокрого гасіння сухим (рис. 1.3)



**Рис. 1.3** Залежності показників CSR и CRI от R<sub>0</sub>, мокрого (а) и сухого (б) гасіння коксу

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7, 8]

### 1.3 Сировинна база коксування

Основними властивостями вугілля є спікання і коксування.

Спікання – властивість подрібненого вугілля утворювати кусковий пористий залишок, званий напівкоксом у процесах нагрівання до 500-550<sup>0</sup>С без доступу повітря, плавлення та затвердіння пластичної вугільної маси.

Коксування - властивість вугілля утворювати при нагріванні до 900-1000<sup>0</sup>С без доступу повітря великі шматки коксу високої міцності.

Коксування вугільної шихти, визначальна міцність і крупність коксу залежить, по-перше, від природних властивостей вугілля - спікання, в'язкості пластичної маси, газовиділення в окремі періоди коксування, ступеня спучування маси, що плавиться, і величини тиску її на стінки камери коксування. Значною мірою прояв цих властивостей залежить від режиму коксування. По-друге, коксування шихти залежить від технології її підготовки, регламентів завантаження та коксування: насипної маси шихти, ступеня подрібнення, розподілу петрографічних складових за окремими класами крупності, температури та швидкості коксування.

У загальному випадку орієнтовний склад вугільних шихт вибирають на підставі даних технічного аналізу, показників спікливості окремих марок вугілля, їх взаємного впливу на ці властивості в процесі спікання. Для коксування застосовують вугілля Донецького, Кузнецького, Львівсько-Волинського та інших басейнів.

За найменуванням марок кам'яне вугілля поділяють на довгополум'яне (Д), газове (Г), жирне (Ж), коксове (К), піснувате спікливе (ПС), пісне (П) і антрацити (А). Останні, як найдавніші за рівнем метаморфізму, до кам'яного вугілля не відносять і коксування не використовують.

Спікливість часто ототожнюють з товщиною пластичного шару (Y, мм) – визначається в лабораторних умовах.

Важливим показником якості вугілля є вихід летких речовин – величина V, %. Дані досліджень та промислового досвіду показують якісну залежність міцності коксу від величин V та Y, що дозволила сформулювати принципи складання вугільних шихт:

- При одній і тій же товщині пластичного шару в звичайних умовах коксування утворюється міцний і великокусковий кокс, чим менше вихід летких речовин.

- При одному і тому ж виході летких речовин зі збільшенням товщини пластичного шару підвищуються спекливість вугілля і здатність його приймати присадки, що осісняють, зі зростанням або без зниження міцності одержуваного коксу.

- При тому самому виході летких речовин зі збільшенням товщини пластичного шару зазвичай знижується крупність шматків коксу і збільшується структурна міцність речовини коксу.

- При однаковій товщині пластичного шару здатність вугілля приймати присадки, що опісняють, підвищується зі збільшенням виходу з них летких речовин.

Газове вугілля при індивідуальному коксуванні не утворює кускового продукту при середній і високій спікливості може утворювати добре проплавлений кокс, але який має невеликий опір дроблячих зусиль. Тому газове вугілля слід поєднувати з вугіллям марок К і Ж.

Жирне вугілля (Ж) легко утворює пластичну масу, асимілюючи присадки вугілля, що опісняють, не мають достатньої спекливості. Кокс із жирного вугілля стійкий до стирання, але легко дробиться внаслідок розвитку високої поперечної тріщинуватості.

Вугілля марки К у складі шихти забезпечують отримання коксу високої міцності з гарною структурою та однорідною крупністю. При індивідуальному коксуванні дає великий, малотріщинуватий кокс з високим опором зусиллям, що дроблять і стирають [6].

За даними українського вуглехімічного інституту (УХІН, м. Харків) в умовах коксохімічних підприємств України якісні кокси для доменного виробництва можна отримати тільки з вугільних шихт з виходом летючих не більше 28% і товщиною пластичного шару  $Y$  не менше 16мм.

У шихту іноді вводять добавки, що не спікаються (коксівий дріб'язок, колошниковий пил, пил УСГК) з метою утилізації відходів, розширення сировинної бази коксування і навіть збільшення міцності коксу. Коксовий дріб'язок є основним твердим паливом агломерації руд і концентратів, але

значну її частину (до 60-70% і більше) замінюють антрацитовим вугіллям, а ресурси, що звільнилися, іноді використовують у вугільній шихті, що призводить до зменшення утворення тріщин у коксовому піролізі.

Важливо підкреслити, що досі ще не створені глибокі теоретичні основи складання вугільних шихт для виробництва коксу із заданими властивостями. Пояснюється це наступним. Дослідженнями встановлено адитивність показників технічного аналізу (вмісту золи, сірки, виходу летких речовин), виходу багатьох продуктів коксування, показників елементарного і петрографічного складів для вугільної шихти та її компонентів та не переважну більшість властивостей вугілля у процесі піролізу вугільної речовини. Залежно від природи, ступеня метаморфізму, перетворення органічної маси вугілля, змінюється їх поведінка при коксуванні. При відносно низьких швидкостях одночасного нагріву вугільної маси в малому обсязі коксової печі різне вугілля знаходяться на різних стадіях процесу коксування. Тому основні властивості шихти, що визначають якість коксу - спікливість і коксуємість, - не підпорядковуються закону адитивності, тобто значення величин, що відповідають цілому об'єкту (шихті), не дорівнюють сумі значень величин, що відповідають його частинам (компонентам шихти) [7].

Справжні дані про властивості вугільних шихт та їх вплив на якість коксу можна отримати лише при дослідженні процесу коксування у певних промислових умовах. І все-таки, спочатку, виробничі шихти складають з урахуванням, перш за все, їх спікливість і коксуємість, а також таких сукупних показників, як збагачуваність, хімічний склад золи вугілля, сірки, фосфору, виходу летких речовин, очікуваний вихід хімічних продуктів коксування, величина усадки в печі. Якість коксу залежить не тільки від компонентного складу вугільної шихти (вплив набору вугілля є переважним), а й від ступеня підготовки компонентів до процесу коксування за такими показниками, як: гранулометричний склад, насипна щільність, вологість, вихідна температура вугільної маси, вміст у ній згаданих елементів та сполук [8].

## 1.4 Шляхи розширення сировинної бази коксування

Природно, що експлуатація старих коксових батарей викликає зниження їхньої виробничої потужності, підвищення експлуатаційних витрат, зниження якості коксу, погіршення умов праці обслуговуючого персоналу та збільшення шкідливих викидів в навколишнє середовище. У разі зносу та незадовільного стану коксохімічного обладнання питомі експлуатаційні витрати на 1 тону продукції зростають у 1,5-2 рази, витрати енергоресурсів зростають більш ніж у 1,7 рази, продуктивність праці знижується у 1,8-2 рази [9].

Останнім часом у світовій коксохімії реалізуються результати багаторічних розробок за технологією виробництва коксу на батареях із печами великого обсягу.

Перевагами камер великого обсягу є нижчі капітальні витрати та експлуатаційні витрати, зниження навантаження на доквілля та збільшення терміну служби печей. Зниження капітальних витрат при переході на печі заввишки 7,6 м досягається за рахунок зменшення кількості батарей, скорочення виробничих площ та комплектів коксових машин. Для обслуговування потрібно менша чисельність персоналу, що сприяє оптимізації експлуатаційних витрат. Навіть понад 2 млн. т/рік коксу можна виробляти на двох коксових батареях з одним комплектом машин та однією робочою бригадою, що переконливо демонструє коксохімічний завод Швельгерн [11].

У довгостроковій перспективі можна розраховувати на збільшений термін служби великовантажних батарей, що позитивно позначиться на собівартості коксу. При використанні коксових печей великого об'єму покращується екологічна ситуація, що пов'язано з меншою кількістю видач коксу та завантажень шихти на добу, а також з меншою довжиною стиків, що ущільнюються (люка, стояки, двері та ін.). Усе це значно зменшує можливість прямих викидів.

Основну масу металургійного коксу виробляють у світі традиційним способом – у вузькокамерних печах періодичної дії. Нові процеси виробництва

коксу в таких печах в основному зосереджені у сфері підготовки вугільної шихти та спрямовані на:

- покращення якості коксу;
- заміщення дефіцитного вугілля, що спікається, менш дефіцитним слабоспівливим відкритого видобутку;
- отримання коксу спеціального призначення із заданими властивостями;
- підвищення продуктивності коксових печей.

Для скорочення витрати вугілля, що добре спікається, і підвищення якості коксу все частіше застосовуються прогресивні технології, що дозволяють розширити сировинну базу коксування.

Найбільш вивченими технологіями коксування великої кількості вугілля, що слабо спікається, в шихті є:

- термічна підготовка вугільної шихти;
- трамбування вугільної шихти перед коксуванням;
- часткове брикетування шихти;
- вибіркове подрібнення шихти з пневматичною сепарацією;
- виробництво формованого коксу;
- безперервне коксування.

#### **1.4.1 Використання добавок до вугільної шихти**

Введення в шихту різних добавок проводять з різними цілями:

- опіснення - зниження спіклivosti шихти або її ожиріння - підвищення спіклivosti;
- утилізації відходів;
- підвищення щільності шихти;
- отримання спеціальних видів коксу (залізококс, силікококс та ін).

Як опіснююча добавка використовують антрацит, пісне вугілля, подрібнені напівкокс і коксовий дріб'язок.

Спікання та щільність шихти збільшується при введенні в її масу кам'яновугільного масла, пеку, бітуму, гасу, мазуту. Усього 0,1% гасу та 0,2-0,5% від маси шихти кам'яновугільного масла підвищують її насипну щільність на 2-2,5%. Головний недолік застосування органічних добавок - їх випаровування, збільшення пиловиділення при завантаженні шихти, внаслідок чого їх використання або різко обмежено або припинено за екологічними вимогами [9, 11].

#### **1.4.2 Брикетування вугільної шихти**

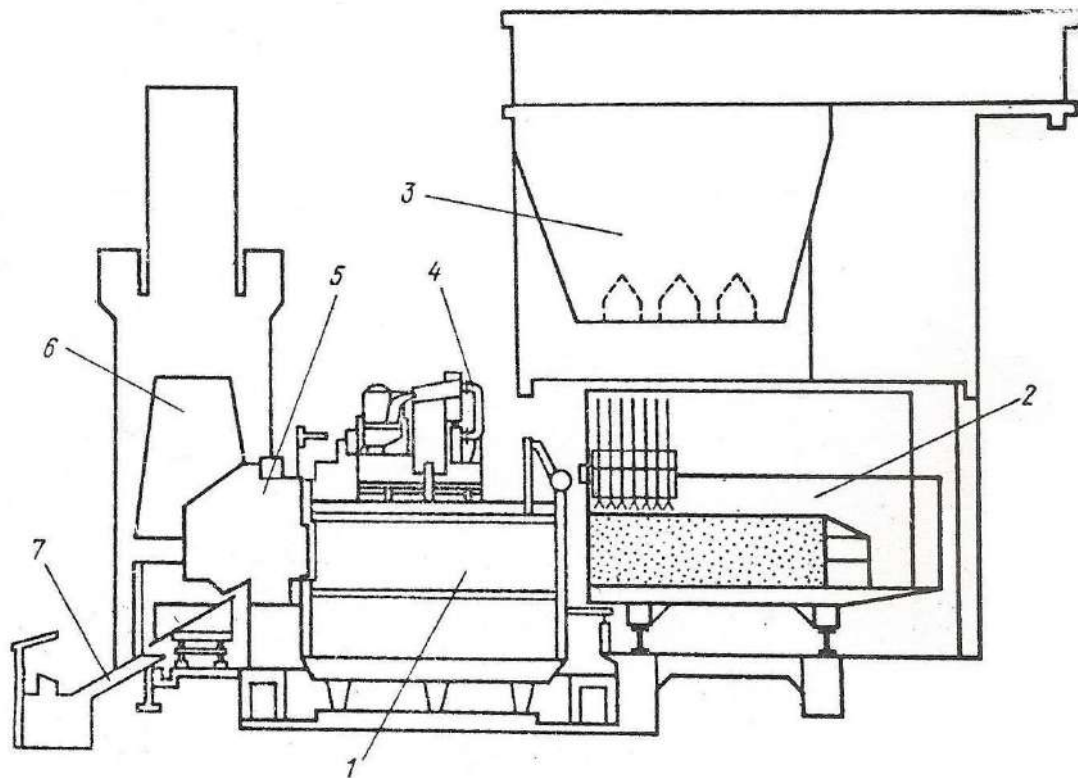
Брикетування певної частини вугільної шихти у валкових пресах при використанні як сполучних нагрітих смол (бітуму, гудрону) застосовують з метою підвищення щільності суміші брикетів (30% від маси печі шихти, що завантажується в печі) і звичайної підготовленої шихти крупністю 0-3мм.

Брикет крупністю 30-50мм і щільністю близько 1200кг/м<sup>3</sup> змішуєть з шихтою у вугільній башті. При завантаженні шихти у вуглезавантажувальні вагони та коксові печі не допускають суттєвої сегрегації великої частини шихти – брикетів. При рівномірному розподілі брикетів у шихті середня величина густини вугільної завантаження збільшується на 10-15%. Внаслідок підвищення щільності шихти, спучування брикетів при коксуванні зростає міцність коксу, збільшується продуктивність процесу коксування [8].

#### **1.4.3 Трамбування вугільної шихти**

Трамбування вугільної шихти застосовують у промисловому масштабі, наприклад, на Алчевському коксохімічному заводі (батареї №9 і №10). Вугільну шихту з вологістю 10-12%, крупністю 0-3мм (класу - 3мм не менше 90-92%) з вмістом класів 0-0,5мм не менше 35% завантажують з вугільної башти 3 в спеціальну трамбовочно-виштовхуючу машину 2, в камері якої чотири хвилини (рис 1.4). Щільність шихти збільшується від 750 до 1150 кг/м<sup>3</sup>. Утрамбований

вугільний піріг має розміри, що відповідають розмірам камери коксування 1. На спеціальному піддоні піріг всувають в камеру, потім видаляють піддон, двері камери щільно закривають ригельними затискачами і процес коксування починають у звичайному порядку. Газопилові викиди завантаження, що виділяються, знешкоджуються в газоочисному апараті 4. У трамбованій шихті можна збільшувати вміст недефіцитного слабо спікливого газового вугілля до 60, а в окремих випадках до 85%, при цьому досягаються необхідні показники якості доменного коксу, і продуктивність процесу коксування трамбованої шихти збільшується на 10-15%.



**Рис 1.4** Схема встановлення трамбування вугільної шихти: 1 – камера коксування; 2 – трамбувально-виштовхувальна машина; 3 – вугільна башта; 4 – система очищення газів завантаження; 5 – системи безпилової видачі коксу; 6 – гасильна башта; 7 – коксова рампа.

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [8]

Якщо така шихти підігріта до 170-180<sup>0</sup>С і до неї додано 6-7% бітуму, то продуктивність зростає на 35%, а період коксування скорочується на 25-30%.

#### 1.4.4 Коксування вугілля без вловлювання хімічних продуктів

Коксування вугілля без уловлювання хімічних продуктів коксування (БУХПК) знаходить застосування у ряді зарубіжних країн (США, Китай, Австралія, Мексика, Німеччина). Відмінність цього процесу коксування від звичайного в тому, що коксування в об'ємній камері (висота 1-1,6м, ширина 3,8-4м, довжина до 16м) протікає протягом 44-46 годин за рахунок теплоти, що виділяється при згорянні газоподібних продуктів коксування та часткового горіння вугілля. У звичайних печах процес коксування протікає у горизонтальному напрямі, а печах БУХПК – у вертикальному, від верхньої і нижньої поверхонь шихти. Зверху шихта нагрівається прямим факелом горіння, а з боку поду печі за рахунок тепла продуктів часткового горіння газу, що надходять у подові канали, і остаточного його допалювання при подачі в опалювальні канали вторинного підігрітого повітря горіння.

Головна перевага печей БУХПК – у багаторазовому зменшенні кількості шкідливих викидів, забруднених стічних вод, твердих відходів у вигляді пилів, фусів, смол та інших смердючих утворень [11].

Інші значні переваги цього, фактично оновленого, а по суті – найстарішого процесу (перші коксові печі працювали за такою ж схемою) включають таке:

а) спорудження та використання печей БУХПК у кілька разів знижують інвестиційні та експлуатаційні витрати, оскільки з технологічної схеми виключається дороге та складне обладнання з уловлювання та обробки хімічних продуктів коксування, що приносять не більше 30% доходу від загальної суми реалізації продукції коксохімічного виробництва;

б) бічне завантаження печей блоками трамбованої шихти, коксування, видача з печей щільного коксового спеку не супроводжуються великими шкідливими викидами у зв'язку з наявністю в печах постійного розрідження, створюваного димососами;

в) коксові печі БУХПК можуть працювати на однокомпонентній шихті із вугілля, що слабо спікається; якість коксу при цьому досягається висока: показники міцності та стирання складають  $M_{40}$  - 84,5-88,5%,  $M_{10}$  - 5,5-6,3%, а гарячої міцності CSR перевищує 70%;

г) рівень викидів бензольних та інших вуглеводнів при завантаженні шихти та виштовхуванні коксу дуже низький у зв'язку з окислювальною атмосферою камер коксування, на відміну від відновлювальної для звичайних коксових печей; лідируюче за викидами бензапірену звичайне коксове виробництво в даному випадку практично повністю виключає такі викиди небезпечного супертоксиканту;

д) у процесі коксування БУХПК повністю утилізується тепло продуктів, що відходять, згорання прямого коксового газу, на відміну від звичайного процесу, де газ, що відходить, йде у димову трубу з температурою 250-300<sup>0</sup>С.

е) процес виробництва коксу відрізняється простотою, що не вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Великі недоліки процесу коксування БУХПК:

а) продукти горіння, що відходять, потрібно піддавати хемосорбційному очищенню;

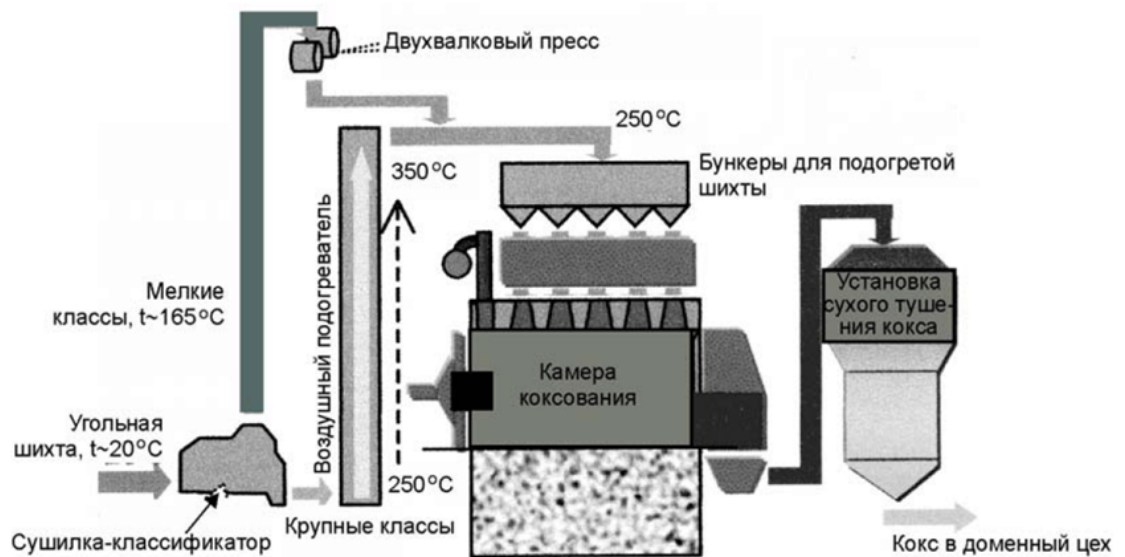
б) у процесі виробництва коксу повністю втрачаються численні та досить цінні хімічні продукти коксування.

Незважаючи на це, у згаданих зарубіжних країнах обсяги виробництва коксу за технологією БУХПК сягають 15% [11].

#### **1.4.5 Виробництво коксу за технологією SCOPE 21**

Дана технологія виробництва коксу є однією з найпрогресивніших серед розроблених останнім часом. Концепція технології за проектом SCOPE 21 передбачає вирішення наступних завдань: ефективного використання вугільних ресурсів зі збільшенням частки вугілля, що не спікається і слабоспікається, в шихті для коксування до 50 %; підвищення продуктивності коксових печей із

метою зниження капітальних витрат; ослаблення навантаження на докільця та зменшення енергоспоживання. Схема технологічного процесу виробництва коксу SCOPE 21 представлена на рис. 1.5.



**Рис. 1.5. Схема технологічного процесу виробництва коксу SCOPE 21**

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [11]

Вугільна шихта піддається подрібненню до крупності менше 3 мм і надходить у сушарку-класифікатор, в якій відбувається сушіння та поділ шихти на два класи, дрібний та крупний. Потім крупне вугілля піддається швидкісному нагріванню до 350 °С трубчастому підігрівачі в потоці повітря. Дрібні класи вугілля з температурою ~160 °С після сушарки-класифікатора надходять у двовалкові преси та піддаються гарячому брикетуванню, після чого поєднуються з великими класами та завантажуються в коксову піч [11].

Коротка технічна характеристика коксової батареї із процесом SCOPE 21:

Число печей – 64;

Розміри печі (висота, довжина, ширина), м – 6,7×16,6×0,45;

Температура вугільного завантаження – 250 °С.

Технологічний процес має такі основні відмінні риси:

- застосування швидкісного нагрівання шихти дозволяє скоротити тривалість коксування, знизити витрати енергії на коксування і підвищити міцність коксу;

- на печах застосовано систему обігріву з малим викидом оксидів азоту (NO<sub>x</sub>): використано схему з одноступеневим підведенням газу та тріступеневим підведенням повітря в поєднанні з рециркуляцією продуктів згоряння.

Нова технологія забезпечує можливість отримання коксу з шихти з 50% участю вугілля, що слабо спікається, міцність якого за показником DI<sup>15</sup><sub>150</sub> вище 84 %, що визначає придатність одержуваного коксу для використання в доменній печі.

#### **1.4.6 Технологія регулювання вологості вугільної шихти**

Вологість вугілля – одна з властивостей, яка порівняно з іншими характеристиками шихти легко піддається регулюванню. Вологість вугілля впливає на дробимість, насипну щільність, вантажно-транспортні операції.

Звичайно, коливання вологості шихти викликають необхідність регулювання режиму коксування. Крім того, чим більше води з шихтою вноситься, тим більше води утворюватиметься на підприємстві, яку необхідно очищати від шкідливих домішок. Для зниження вологості шихти застосовують попереднє сушіння, в результаті якого також покращується якість шихти і, як наслідок, коксу [11].

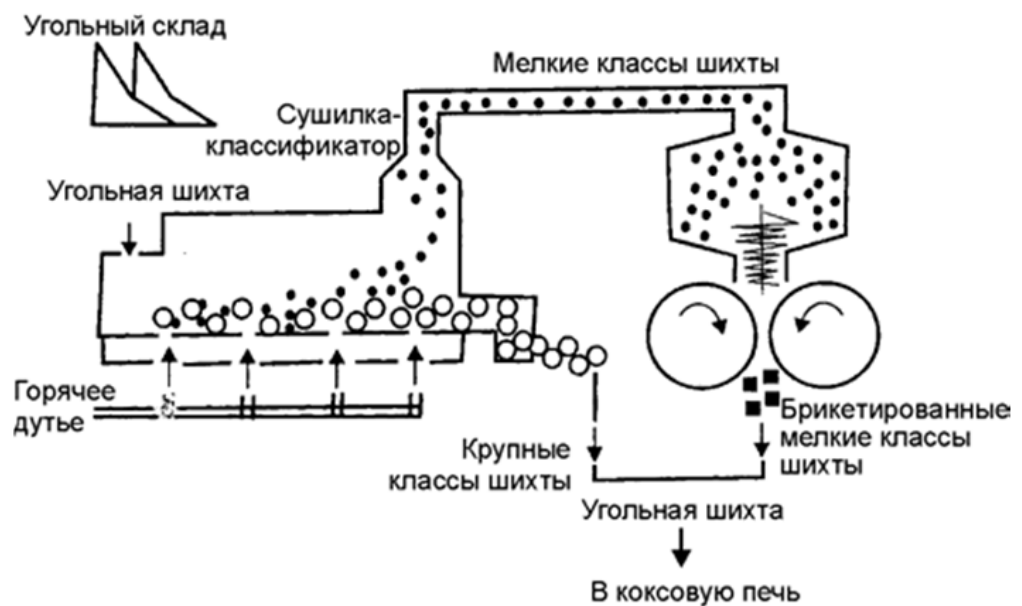
Технологія попереднього підсушування шихти (СМС, компанія «SAIL») передбачає часткове видалення води з вугільної шихти рівня 5-6 % з використанням тепла коксових печей чи інших джерел тепла перед завантаженням в коксову піч.

Для підсушування шихти вугілля використовуються димові гази коксових печей, що скорочує викиди у довкілля CO<sub>2</sub> на ~35,8 кг на 1 т вугілля. При зниженні вологості шихти з 11 до 6% витрата тепла на коксування скорочується на 310 МДж/т сухого вугілля. Із застосуванням технології регулювання вологості

зниження вмісту води шихти на 1 % дозволяє зменшити витрату тепла на коксування на 62,0 МДж/т шихти сухої ваги.

Впровадження технології регулювання вологості шихти дозволяє підвищити щільність вугільного завантаження, зменшити тривалість коксування та підвищити продуктивність коксової печі на 7-11 %. Постійна вологість вугільної шихти сприяє стабілізації роботи коксових печей та продовження терміну їхньої служби. Процеси регулювання вологості та підсушування вугільної шихти з окускуванням її пилоподібних класів.

З метою підвищення частки слабоспікливого вугілля в шихті для коксування на фірмі «Nippon Steel» в 1992 р. розробили та ввели в дію на заводі в Оіті нову технологію підготовки вугілля, яка отримала найменування DAPS (коксування попередньо підсушеної та окускованої шихти). Схема процесу у системі DAPS показано на рис. 1.6.



**Рис. 1.6. Технологічна схема системи DAPS**

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [11]

За технологією вугілля піддається сушінню в сушарці з киплячим шаром, а на виході з сушарки класи вугілля менше 0,3 мм відокремлюються в циклоні, після чого піддаються брикетуванню. Вугільна шихта має вологість 2-4%. Масова частка окускованого дрібного вугілля становить близько 30% від усієї

маси вугільного завантаження. Окусковане вугілля додають в масу вугілля більших класів і спільно завантажують у коксові печі [11].

#### 1.4.7 Термічна підготовка шихти

Термічна підготовка вугілля перед коксуванням полягає в їх нагріванні до 180-200<sup>0</sup>С у спеціальній вихровій камері. Внаслідок цього вологість вугілля знижується до 0-1%, насипна щільність збільшується на 10-15% - від звичайних 730-750 до 850-860 кг/м<sup>3</sup>.

Ефективність коксування сухої та нагрітої шихти полягає в:

а) коксування термічно підготовленої шихти супроводжується підвищенням міцності коксу, покращенням його гранулометричного складу, зростанням продуктивності на 25-40%, зниженням сірчистості коксу;

б) витрата тепла на коксування знижується на 10-12%, в шихту можна вводити 20-25% вугілля, що слабо спікається.

Нагрів вугільної шихти теплом коксу, що охолоджується, або відхідних газів коксових печей реалізований в дослідно-промислових і промислових умовах, зокрема, в Японії. У спеціальному теплообмінному змішувальному барабані приблизно половина від виробленого розжареного коксу більшістю 25мм перемішується протягом 5-7,5 хвилин з вугільною шихтою, в результаті її температура підвищується до 100-140<sup>0</sup>С. Кокс охолоджується до 180-200<sup>0</sup>С. Підігріту шихту та кокс розділяють гуркотінням.

В іншому варіанті промислово шихту підсушують до постійної вологості 5-5,5% шляхом організації теплообміну між шихтою і органічним теплоносієм, що нагрівається до температури 150-200<sup>0</sup>С в змійовиках, встановлених у боровах відхідних газів і газових стояках коксових батарей.

Порівняно з коксуванням вологих шихт, енерговитрати на коксування підсушених шихт знижуються на 15-20%, підвищується продуктивність на 11%, збільшується термін служби кладки коксових печей [11].

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

Під термічною підготовкою шихти перед коксуванням мають на увазі два процеси: глибока сушіння шихти з доведенням її вологості до 0,5 - 2 %, попередній нагрівання шихти поза камерою коксування приблизно до 423 К. Як глибока сушіння, так і термічна підготовка здійснюються шляхом теплообміну при безпосередньому контакті. Тривалість нагрівання в теплообмінних апаратах з твердим теплоносієм становить 4-10 хв, в псевдокиплячому шарі - 0,5-2 хв і в потоці газу-теплоносія - 0,3-1,5 с.

Сушка - традиційний спосіб підвищення завантаження шихти в коксові печі.

Глибока сушіння (373-383 К), що супроводжується повним видаленням гігроскопічної вологи, дозволяє лише незначно збільшити в шихтах кількість вугілля, що слабо спікається. У цьому процесі всі зміни як кокс і продуктивність коксових печей визначаються тільки збільшенням насипної щільності і швидкості коксування сухого вугілля [12].

### 2.1 Фізико-хімічні засади процесу термічної підготовки вугільної шихти

Як показали дослідження, проведені в УХІН (Ю. Б. Тютінніков і Л. Г. Синцєрова), термічна підготовка при температурі 423-473 К призводить до нових якісних змін вугілля. На відміну від сушіння, процес попереднього нагріву здійснюється при температурах, коли починається і відбувається деструкція органічної маси вугілля. Характер її багато в чому залежить від швидкості підйому температури, середовища, кінцевої температури нагріву та інших чинників. Тому отримання коксу тієї чи іншої якості з термічно підготовленого вугілля значною мірою визначатиметься умовами попереднього нагріву.

Вугілля неоднакового ступеня метаморфізму в процесі термічної підготовки поведуться по-різному, що вказує на різні термохімічні

перетворення, що відбуваються в їх органічній масі, та особливості їхньої молекулярної структури. При цьому помічено, що попередній нагрівання вугілля позначається на якості коксу тим ефективніше, чим менше ступінь метаморфізму вугілля, що готується. Дослідження, проведені за визначенням елементного складу термічно нестійкої частини макромолекул вугілля, свідчать про те, що в процесі швидкісного попереднього нагрівання теплова енергія витрачається в основному на посилення коливань окремих атомів та структурних одиниць [12].

Тільки у малометаморфізованого вугілля це призводить до дисоціації зв'язків з термонестійкими функціональними групами. У процесі попереднього нагрівання насамперед послаблюються зв'язки з киснем. З усіх кисневмісних функціональних груп у процесі термічної підготовки вугілля відбувається дисоціація зв'язків тільки карбоксильних груп. Кількість карбонільних та гідроксильних груп з підвищенням температури попереднього нагрівання збільшується. Це вказує на розрив основної кількості водневих зв'язків і звільнення цих груп від сполучення. Отже, у процесі швидкісного попереднього нагріву змінюється енергетичний стан макромолекул вугілля у зв'язку з посиленням коливань окремих структурних одиниць та функціональних груп. Поряд із цим в органічній масі вугілля відбуваються помітні внутрішньомолекулярні зміни, обумовлені дисоціацією зв'язків з карбоксильними групами та розривом основної кількості водневих зв'язків. Глибина цих змін визначається як ступенем метаморфізму вугілля, і температурою попереднього нагрівання. Температура попереднього нагріву повинна бути нижчою за температуру хімічної термостійкості вугілля [13].

Термостійкість вугілля так само, як і інших високомолекулярних матеріалів, визначається рівнем температури, при якій починається розкладання органічної маси внаслідок розриву ковалентних зв'язків із утворенням газової фази. При перевищенні температури, що характеризує хімічну термостійкість вугілля, настають зміни їх властивостей і переривання нагрівання викликає зниження спікливості вугілля через термічне розкладання, активування залишкового матеріалу та його незворотне поліконденсування.

Тому одним із основних принципів термічної підготовки вугілля до шарового коксування є обмеження температури їх нагрівання. Температура хімічної термостійкості вугілля зростає зі збільшенням ступеня їхнього метаморфізму, відповідно може зростати і кінцева температура їхньої термічної підготовки.

При термічній підготовці шихти певне значення має її гранулометричний склад. За наявності великих частинок вугілля створюється небезпека недостатнього прогріву їх у всьому обсязі. Для більш рівномірного нагрівання всієї маси вугілля слід подрібнювати його тонше. У той самий час встановлено, що тонке подрібнення вугілля небажано з погляду погіршення їх властивостей спікливості. Ця обставина має особливе значення для малометаморфізованого вугілля.

Для правильного вирішення питання про технологічний режим попереднього нагрівання необхідно з'ясувати вплив термічної обробки на органічну масу вугілля різного гранулометричного складу і сутність термохімічних перетворень, що при цьому відбуваються. Конструкції пристроїв для термічної обробки шихти повинні забезпечувати рівномірне нагрівання вугільних частинок різної крупності.

Насипна щільність вугілля спочатку підвищується, а потім при нагріванні вище 473 К дещо зменшується. Це пояснюють розпушенням вугільних частинок, початком виділення газів і перших рідких речовин, що змінюють поверхню частинок, а це призводить до погіршення їх взаємного переміщення та погіршення упаковки. Максимальні значення насипної щільності мало вугілля, нагріте в межах 423-473 К, і при подальшому підвищенні температури спостерігалось зменшення цього показника. З цієї точки зору попередній нагрівання вугілля вище 473 К, очевидно, недоцільний.

Дослідження УХІН показали, що значне підвищення продуктивності коксових печей спостерігалось при нагріванні шихти до 400 К. Нагрівання її вище цієї температури не призводить до помітного зростання продуктивності. Тому нагрівання шихти до 473 К доцільно здійснювати тільки при найбільшому

залученні в її склад слабоспікливого вугілля низької стадії метаморфізму. Роботами УХІНа (в дослідно-промислових умовах) було встановлено, що при глибокій сушінні шихти (373-383 К) період коксування скорочується на 2-2,5 год і продуктивність коксових печей збільшується на 36-40%, а при нагріванні шихти до 475 К період коксування скорочується на 3-3,5 години [14].

З наведених даних видно, що термічна підготовка краще глибокого сушіння шихти. Власне нагрівання вугільної шихти в процесі її термічної підготовки нині труднощів не викликає. Є досить освоєні технічні рішення для нагрівання шихти газоподібним теплоносієм. До них можна віднести нагрівання в реакторах з псевдозрідженим («киплячим») шаром вугілля, в трубах-сушарках (пневмотрубах) з подальшим відділенням вугілля в апаратах відцентрового або гравітаційного типу. Досліджується ефективність двоступінчастого нагріву шихти - спочатку повільне нагрівання до 373-383 К реакторі з псевдозрідженим шаром, та був швидке нагрівання сухого вугілля в пневмотрубі до 423-473 К.

З огляду на відносно невисокі температури попереднього нагрівання шихти виділення продуктів її піролізу мінімально і очищення надлишкового газоподібного теплоносія, що викидається в атмосферу, потрібно в основному від пилу і може бути здійснена також за допомогою освоєних технічних рішень. Однак здійснення цієї технології в промислових умовах викликає серйозні труднощі при зберіганні, транспортуванні та завантаженні попередньо нагрітої шихти коксові печі. Було встановлено, що зберігати термічно підготовлену шихту можна лише 0,5-2 год (залежно від марочного складу та температури нагріву). Теплове витримування нагрітої шихти більше 2 год (в середовищі інертного газу) призводить до зниження якості коксу, що отримується з неї [15].

## **2.2 Завантаження термічно підготовленої вугільної шихти**

Транспортування та завантаження в коксові печі термічно підготовленої шихти є складним технічним завданням. Тут необхідно забезпечувати доставку її до печей, а також бездимне та безпилоче завантаження, вирішувати проблеми,

пов'язані зі значним винесенням вугільного пилу газами під час завантаження в газозбірники, захистом навколишнього середовища. У нашій країні роботи із завантаження сухої та термічно підготовленої шихти ведуться у двох напрямках: завантаження за допомогою вуглезавантажувального вагона, трубопровідне завантаження.

У США, ФРН, Японії та інших країнах застосовують три способи завантаження нагрітої шихти: Коултек - трубопровідне завантаження; Прекарбон - завантаження спеціальним ланцюговим конвеєром; Батнер, а також Сімкар – завантаження герметизованим завантажувальним вагоном.

Найбільшого поширення США отримав спосіб трубопровідної завантаження (Коултек), розробка якого велася фірмою «Еллайд Кемикэл корпорейшен» протягом 17 років.

Однак, як показала експлуатація цієї системи, їй притаманні серйозні недоліки (низька насипна щільність шихти, зафусовування стояків та клапанних коробок газозбірників, забурювання коксу при видачі його з печей, збільшення чисельності обслуговуючого персоналу та ін.) [16].

### **2.2.1 Завантаження термічно підготовленої шихти вуглезавантажувальним вагоном**

При вагонному завантаженні нагрітої шихти значне пилення викликає необхідність розробляти і виготовляти спеціальні герметизовані вуглезавантажувальні вагони, вносити зміни в їх конструкцію. Останні зразки вагонів оснащуються автономними пристроями для відсмоктування та очищення газів завантаження. Властива суха шихта рухливість і аерованість дозволяють завантажувати її в коксову піч без планування через два або один завантажувальний люк.

Чисельні дослідження показують, що унос пилу з пічної камери в залежності від режиму завантаження вугільної шихти з вологістю 7-10 % складає 4-35 кг, при термічно підготовленій шихті завантаження вагоном з системою

відсосу і очистки газів – 20-130 кг. Причин для такого різкого підвищення уносу декілька.

По-перше, для запобігання нерівномірного прогрівання часток в установці, вугільну шихту піддають більш тонкому подрібненню – 90 % класу < 3 мм, а в процесі термічної підготовки і руху шихти деякі частки піддаються стиранню і у вугільній башті доля тонкого класу підвищується – 92-93 % класу < 3 мм. Вказаний гранулометричний склад і низька аутогезія часток термічно підготовленої шихти є підставою значного пилоутворення. При цьому, слід враховувати, що вугільна шихта має підвищену участь малометаморфізованого вугілля до 70 % марки Г, що призводить до збільшення газовиділення при завантаженні та сприяє уносу пилу з камери коксування.

Підчас наповнення бункерів вуглезавантажувального вагону нагрітою вугільною шихтою відбувається сегрегація, у зв'язку з чим в центрі бункера накопичуються більш крупні шматки, а пилоподібні по периферії, можемо припустити, що подібне явище спостерігається і в камері коксування [17].

За результатами досліджень видно, що значна кількість дрібних часток накопичується у верхній частині вугільного завантаження і знаходиться в пневмозрідженому рухомому стані в підсклепінному просторі камери коксування. Погіршує ситуацію зустрічний потік газів, який утворюється в результаті термічного розкладення вугілля.

Підчас завантаження камери і потрапляння вугільних часток, позбавлених вологи і нагрітих до певної температури, на розжарену поверхню камери коксування відбувається миттєва деструкція речовини з утворенням газоподібних продуктів, які прямують вгору в підсклепінний простір і своїм рухом підвищують кількість уносу. Чим більша частка малометаморфізованого вугілля (термічно нестійкого), тим більша кількість газів деструкції буде утворюватися.

В шламі після мокрої пилоочистки спостерігається наступний гранулометричний склад (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

## Гранулометричний склад шламу очистки пилоуносу

Клас крупності, мкм	> 100	100-50	50-25	25-10	< 10
Кількість, %	2,1	22,0	14,8	33,7	27,4

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [17]

Аналізуючи таблицю, видно що з газом уносяться найдрібніші часточки, вловлювання яких ускладнено і можливо тільки високоефективним обладнанням. Особливо це стосується найбільш важко вловлюваних часток < 50 мкм вміст яких складає ~ 76 %.

Складність питання ще й в тому, що на вуглезавантажувальних вагонах не можливо встановити багатоступінчасту систему очистки газів та деякі методи неможливі, бо обмежуються автоматичністю процесу вуглезавантаження та мобільністю вагону.

Збільшення швидкості завантаження, а у зв'язку з цим підвищення кінетичної енергії потоків шихти, що направляються в камеру, призводить до ще більшого виділення пилу та його уносу. Вплив потоків проявляється в порушенні рівноваги і перемішування вугільного завантаження, які характеризуються низькою аутогезією часток та високим ступенем їх відносної рухомості. В результаті активного впливу тепла зазнає велика кількість дрібних часток вугілля та їх загальна поверхня, яка контактує з поверхнями стінок і розжареними газами, як наслідок зростає теплообмін і кількість газів що виділяється збільшується, що збільшує кількість нагрітих дрібних часток [17].

На практиці доведено, що ці явища пропорційні швидкості завантаження, так при швидкості завантаження 200 кг/с з пічної камери уноситься вугільного пилу 70-100 г/м<sup>3</sup> газів, при швидкості 100 кг/с – 15-30 г/м<sup>3</sup>, при швидкості 50кг/с – 5-10 г/м<sup>3</sup>. Для порівняння надаємо данні які стосуються завантаження звичайної вологої шихти: швидкість завантаження складає 300 кг/с при цьому виділення вугільного пилу з газами не перевищує 2-3 г/м<sup>3</sup>.

Таким чином оптимальна швидкість завантаження термічно підготовленої вугільної шихти вагоном оснащеним системою відсосу, спалювання і очистки газів знаходиться в межах 100-130 кг/с. Разом з цим відпрацьовані два способи завантаження термічно підготовленої вугільної шихти вуглезавантажувальними вагонами. Перший – одночасне завантаження камери коксування крізь два крайні люки і відсосом виділеного пилу і газу крізь вільний середній. І другий спосіб – використання спеціально сконструйованих вагонів для завантаження термічно підготовленої шихти з підведенням кисню, для спалювання газів і пилу, які виділяються в процесі завантаження та очистки утворених димових газів. Також може використовуватися трубопровідна технологія завантаження термічно підготовленої вугільної шихти, в якій можна збирати і накопичувати гази і пил завантаження [18].

### **2.2.2 Трубопровідне завантаження термічно підготовленої шихти**

Сутність трубопровідного завантаження термічно підготовленої шихти полягає у транспортуванні її перегрітою парою по трубах. Такий спосіб завантаження досліджується на Донецькому коксохімічному заводі.

Нагрівають вугільну шихту газовим теплоносієм у трубі-сушарці. Продуктивність коксової батареї може бути підвищена до 40%, витрата тепла на коксування знижується на 10-12%, до складу шихти може бути включено 20-25% вугілля, що слабо спікається.

Установка (рис. 2.1) складається із системи термообробки вугільної шихти 1 в русловому псевдозрідженому шарі, паротранспорту і завантаженням з отсосом газів і пилу, які виділяються з камери коксування 8, а також холодної камери – моделі 4, яка використовується як накопичувальна ємність.

Нагріту шихту від системи термічної обробки до камери-моделі транспортували по двом трубопроводам 3, за допомогою двох камерних насосів 2, а подачу її від камери-моделі до пічної камери здійснювали трьома камерними насосами по трьом транспортувальним трубам 3.



газоходів, капловловлювачів 15 і парового інжектора, що утворює відповідне розрядження в системі і забезпечує відсос газів завантаження. Тиск транспортувальної пари складав 0,4-0,5 МПа [18].

### **2.3 Установа термічної підготовки шихти**

Установку термічної підготовки шихти (УТПШ) побудовано на проміжному майданчику коксової батареї № 4 та вугільної вежі №2. Таке розміщення установки має низку позитивних сторін, а саме:

- Використання частини вугільної вежі як бункерів вихідної шихти значно скорочує терміни та витрати на будівництво;

- близькість розташування бункера-накопичувача та бункерів-дозаторів нагрітої шихти до коксової батареї виключає операцію додаткового транспортування шихти;

- не потрібно розробка та будівництво додаткових транспортуючих засобів нагрітої вугільної шихти на верх коксових печей;

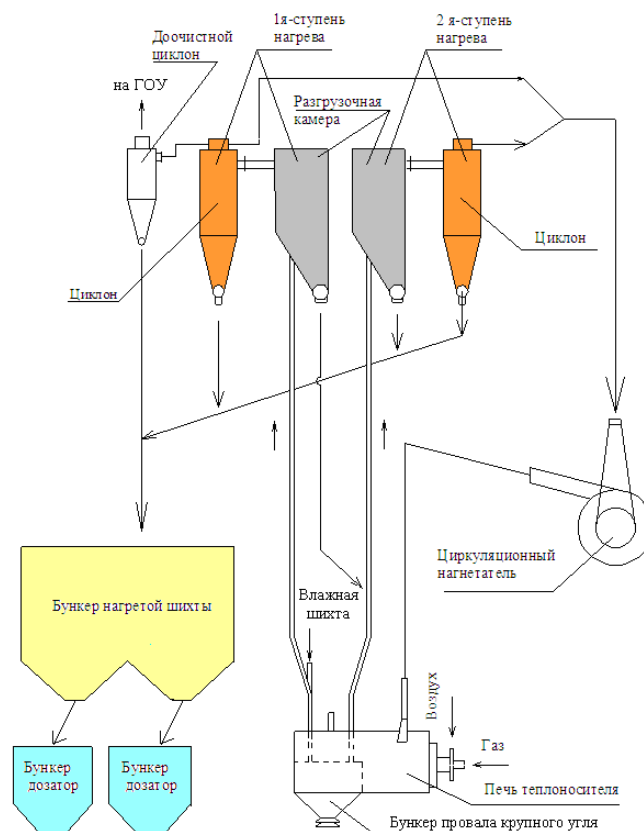
- скорочується час між нагріванням шихти та її завантаженням у коксові печі, що позитивно позначається на якості коксу.

Освоєння УТПШ показало, що основне технологічне обладнання, виготовлене за розробками УХІНу і закладене в технологічному завданні, задовольняє вимогам процесу і має ряд переваг у порівнянні з аналогічними зарубіжними системами нагрівання шихти у висхідному потоці теплоносія (наприклад, «Прекарбон»).

Піч теплоносія стабільно працює на проектних витратах газу 200-1600 м<sup>3</sup>/ч і дозволяє отримувати в одному агрегаті два паралельні потоки теплоносія з заданою різницею температур, що дозволяє раціонально розподіляти теплові навантаження між ступенями нагріву. Раціональне розподілення теплових навантажень між ступенями нагріву дозволяє застосовувати в першому ступені високотемпературний теплоносій без погіршення якості термічної підготовки шихти, що дозволяє підводити задану кількість тепла з меншим об'ємом

теплоносія. Остання обставина дозволяє суттєво підвищити продуктивність установки [19].

Так, в установках із системою нагріву «Прекарбон» при проектній продуктивності 100 т/година зі сходами діаметром 1278 мм температура теплоносія на вході до другого ступеня повинна становити 600 °С, а на вході до першого ступеня – 275 °С. На УТПШ Ясинівського КХЗ при проектній продуктивності 60 т/година діаметр ступенів становить 800 мм, температура на вході в перший ступінь - 800 °С, а на вході в другу - 450 °С. Це є кращим порівняно з системою «Прекарбон», оскільки волога шихти в першому ступені оберігає вугілля від перегріву, а температура теплоносія на вході в другий ступінь нижче, ніж у системі «Прекарбон».



**Рис. 2.2 Принципова схема системи нагрівання установки термічної підготовки вугільної шихти (УТПШ)**

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [19]

Застосування паралельних потоків теплоносія дозволяє більш ніж у 2 рази скоротити довжину проходження останнього по системі нагріву в порівнянні з послідовним його проходженням, що істотно знижує гідравлічний опір системи нагріву. Наочним прикладом може бути порівняння технічних характеристик циркуляційних нагнітачів системи «Прекарбон» та УТПШ Ясинівського КХЗ, які є основним тяго-дутьтовими обладнанням систем нагріву.

Таблиця 2.2

### Порівняння двох систем УТПШ

Показники	Од. вим.	«Прекарбон»	УТПШ ЯКХЗ
Потужність двигуна	КВт	1100	800
Діаметр робочого колеса	мм	3100	2000
Повний тиск вентилятора (в робочих умовах)	мм вод. ст.	1380	870

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [19]

Дані за нагнітачем УТПШ Ясинівського КХЗ наведено стосовно розрахункової продуктивності установки 100 т/год. Шнековий живильник забезпечує рівномірну подачу шихти в систему нагріву та створює герметичну вугільну пробку при продуктивності 15-60 т/год.

Однак після 2-х років експлуатації шнековий живильник почав виходити з ладу через скручування валу гвинта шнека. Це стало наслідком того, що при виготовленні гвинта шнека було порушено співвісність двох зварних частин гвинта (довжина гвинта шнека перевищувала 6000 мм), а також унаслідок втоми металу. Було виготовлено новий шнек продуктивністю до 90 т/годину з більш потужним валом, який надалі був випробуваний і показав високу надійність у роботі при продуктивності 20-80 т/годину.

На УТПШ Ясинівського КХЗ застосовано двоступінчасту схему відділення вугілля від теплоносія, при якій основна частина вугілля (до 80 %) відокремлюється в розвантажувальних камерах, а частина, що залишилася, – у

циклонах. Така схема раціональна з точки зору зменшення стирання шихти в системі нагріву, оскільки в відцентрових пиловідокремлювачах (циклонах) вугілля притискається до стінок апарату з великою швидкістю і відбувається стирання вугілля та матеріалу апарату. Крім того, двоступінчаста система відділення вугілля від теплоносія дозволяє направляти дрібні класи шихти після циклону першого ступеня відразу в бункер-накопичувач, минаючи другий ступінь нагріву, що запобігає їх перегріванню в другому ступені установки.

У системі нагрівання «Прекарбон» застосований одноступінчастий принцип відокремлення вугілля від теплоносія у групових циклонах. На заводі Гері (США) мали місце випадки розгерметизації циклонів та підсмоктування повітря, що призводило до так званих "вибухів". Розгерметизація циклонів відбувалася внаслідок зносу направляючих жолобів через стирання матеріалу. Надалі ринви були виготовлені з дорогих зносостійких матеріалів [19].

На УТПШ Ясинівського КХЗ розгерметизація системи не призводить до створення вибухонебезпечних концентрацій газів у системі нагріву, оскільки вся система знаходиться під тиском – на відміну від системи «Прекарбон», у якій більша частина вузла нагріву знаходиться під розрідженням. Завантаження термічно підготовленої шихти на коксовій батареї № 3 здійснювалося двобункерним вуглезавантажувальним вагоном з відсмоктуванням та допалюванням газів завантаження.

При такому способі шихта завантажується по черзі через крайні завантажувальні люки з машинної та коксової сторін, а через середній завантажувальний люк відсмоктуються завантажувальні гази, які потрапляють в камеру спалювання. Відразу після камери спалювання продукти згоряння газів завантаження охолоджуються шляхом упорскування води в газоохолоджувач.

На час завантаження нагрітої шихти піч, що завантажується, відключається від газозбірника, а камера спалювання завантажувального вагона через стикувальний патрубок з'єднується з колектором, по якому продукти згоряння газів завантаження направляються на газоочисну установку. Камера

спалювання при відсмоктуванні газів завантаження працювала стійко, додаткове джерело займання для запалювання газів завантаження не потрібне.

Відсмоктування газів завантаження забезпечувало задовільну бездимність на верху печей. Недоліком цього способу була недостатня ступінь очищення газів завантаження спільно з надлишковим теплоносієм УТПШ, що не дозволила добитися санітарних норм на скиданні після газоочисної установки.

При завантаженні термічно підготовленої шихти на коксовій батареї № 1 була випробувана система завантаження із застосуванням завантажувального газозбірника, при якій газ завантаження відсмоктується в завантажувальний газозбірник, а далі через підсклепінний простори сусідніх печей надходять у технологічний газозбірник [20]. На даний момент недоліком цього способу є погіршення якості кам'яновугільної смоли (зольність смоли складає 0,3-0,4%), що робить її непридатною для виробництва електродного пеку.

Коксування термічно підготовленої шихти проводили в печах коксових батарей № 3 і № 1. Батареї № 3 і № 1 мають однакову конструкцію та однакові габарити: висота камер коксування – 4300 мм, корисний об'єм – 21,6 м<sup>3</sup>. Термін експлуатації коксової батареї №3 перевищив 50 років, а батарея №1 була пущена в експлуатацію у 2006 році. Зважаючи на зношеність коксової батареї № 3 температури в обігрівальних простінках на ній становили 1220-1260 °С, а період коксування для вологої шихти - 29 годин. При коксуванні термічно підготовленої шихти 1350-1370 °С період коксування становив 19 годин. На коксовій батареї № 1 при температурах в обігрівальних простінках 1350-1370 ° С період коксування становив 15 годин при коксуванні вологої шихти та 10,5-11,0 годин при коксуванні нагрітої шихти.

Як показав досвід експлуатації, коксування термічно підготовленої шихти не викликає особливих ускладнень, як не викликає труднощів перехід з вологої шихти на нагріту і навпаки. При коксуванні термічно підготовленої шихти на батареї № 3 спостерігалось підвищене графітоутворення в підсвідомому просторі камер коксування, тоді як на батареї № 1 такого не спостерігалось [20].

Крім того, внаслідок підвищеного пилоуносу при завантаженні і протягом 30-40 хвилин після її закінчення мало місце більш інтенсивне заростання газовідвідної арматури вугільним пилом. При проектуванні коксових батарей для роботи з УТПШ рекомендовано застосовувати ширококамерні печі (480-510 мм) з максимальним збільшенням перерізу газовідвідних колодязів, що суттєво знизить швидкість евакуації газів завантаження та зменшить пилоунос.

Вимірювання динаміки вертикальної усадки показали, що її максимальна швидкість спостерігається на 2/3 коксування. Сумарна вертикальна усадка залежить від складу шихти і становить 140-250 мм при вмісті в шихті 30-70% вугілля з високим виходом летких речовин. Горизонтальна усадка (на рівні 0,6 м від поду з коксової сторони) становить для малоусадкових шихт 2-3 мм на бік, а для високоусадкових шихт (вміст вугілля з високим виходом летких речовин  $\geq 70\%$ ) – 7-10 мм на бік. Газовий тиск, виміряний в камері коксування на рівні 0,6 м від поду камери в районі другого вертикалу, має максимальне значення в кінці завантаження і становить 7000-9400 Па, після чого протягом 10 хвилин падає до 3000 Па і далі продовжує повільно знижуватися.

Дослідження компонентного складу коксового газу, що виділяється при коксуванні вологих та нагрітих шихт, показали, що при коксуванні нагрітих шихт виділяється дещо більше метану та менше водню (на 3-4 %). При цьому динаміка зміни компонентного складу газу за періодом коксування при коксуванні вологих та нагрітих шихт приблизно однакова.

У ході освоєння УТПШ проводилися коксування термічно підготовлених шихт різного марочного складу із вмістом малометаморфізованого вугілля 20-100%. При цьому було відібрано та проаналізовано велику кількість проб коксу. Основні середні результати аналізів шихти та коксу представлені у таблицях 2.3 – 2.5.

Проаналізувавши таблицю 2.3 видно, що до складу вугільної шихти, яка використовувалася в процесі освоєння технології УТПШ входила критично велика частка слабоспікливого вугілля, вміст марки Г досягав 90 %.

Таблиця 2.3

**Марочний склад термічно підготовленої шихти**

№ досліду	Марочний склад, %				
	Г	ГЖ	Ж	К	КСН
1	30	-	20	50	-
2	35	-	20	45	-
3	35	-	10	40	15
4	45	-	20	35	-
5	50	-	15	35	-
6	60	-	20	20	-
7	70	-	30	-	-
8	90	-	10	-	-
9	35	15	10	28	12
10	40	-	7,3	37,7	15
11	43	-	17	28	12
12	60	-	25	-	15

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [20]

Якісні характеристики вугільної шихти, представлені в таблиці 2.4, свідчать про відповідність якості складу шихти, особливе це помітно за показником виходу летких речовин, який коливається від 31,4 % до 38,1 % та товщині пластичного шару, діапазон значень якої складає від 10 до 14 мм.

При цьому коливання зольності вугільної шихти менш виразні і складають від 7,5 % до 8,2 %, а вміст загальної сірки становить від 0,68 % до 1,30 %.

Хотілося б звернути увагу на склади шихт і їх якісні характеристик варіантів 7, 8 і 12, які складені без участі найдефіцитнішого компоненту марки К. А також звернути увагу на якість отриманого коксу з вугільних шихт варіантів 6, 7, 8 товщина пластичного шару яких критично низька 11 мм, 10 мм і 10 мм

відповідно, і не дозволяє отримати міцний залишок (кокс) при звичайній технології коксування.

Таблиця 2.4

### Якість термічно підготовленої шихти

№ досліджу	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм	
	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	x	y
1	8,2	0,68	32,9	34	12
2	7,5	0,86	33,9	39	12
3	7,8	0,93	31,9	39	12
4	7,6	0,77	33,8	37	12
5	8,0	0,79	35,7	45	12
6	7,7	1,00	36,5	37	11
7	8,1	1,21	36,7	33	10
8	7,8	1,12	38,1	38	10
9	8,1	1,11	32,6	35	14
10	7,9	1,10	31,4	34	12,5
11	8,1	1,23	32,3	36	14
12	8,0	1,30	35,3	35	13,5

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [20]

З наведених результатів видно, що при коксуванні термічно підготовлених шихт міцний кокс виходить навіть з таких шихт, з яких при коксуванні звичайним способом отримати кокс практично неможливо.

Механічна міцність коксу з термічно підготовлених шихт істотно вище, ніж з вологих, і ця різниця тим більше, чим більше у складі шихти вугілля, що слабо спікається.

Таким чином, коксування термічно підготовлених шихт, що істотно відрізняються за спікливістю, дозволяє отримувати кокс, незначно відрізняється

за механічною міцністю, тобто, за цієї технології кокс більш рівномірний за якістю при коливанні якості шихти.

Таблиця 2.5

**Якість коксу з термічно підготовленої шихти**

№ дослідду	Якість коксу						
	Гранулометричний склад, % за класами, мм					Механічна міцність, %	
	+80	80-60	60-40	40-25	<25	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>
1	19,8	42,2	34,0	3,0	1,0	89,0	5,6
2	18,2	41,3	30,0	6,9	3,6	88,7	6,0
3	14,7	46,8	31,2	4,6	2,7	90,9	4,8
4	8,8	44,4	37,1	7,0	2,7	88,2	6,6
5	5,5	47,5	34,2	9,9	2,9	88,1	6,3
6	9,7	30,0	42,1	13,9	4,3	87,6	6,9
7	7,5	28,2	44,8	16,5	3,0	86,2	7,3
8	1,0	6,3	62,5	25,1	5,1	82,0	8,6
9	0,2	22,9	53,6	21,3	2,0	89,7	6,1
10	3,1	30,3	48,8	16,1	1,7	89,6	5,7
11	5,2	32,7	48,6	12,0	1,5	89,2	6,2
12	2,2	27,2	50,0	17,4	3,2	88,5	6,5

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [20]

Накопичений досвід коксування термічно підготовлених шихт дозволяє досить впевнено прогнозувати якість одержуваного коксу.

Під час освоєння УТПШ термічній підготовці піддавалися шихти різного гранулометричного складу, у яких вміст класу менше 3 мм коливався від 80 до 90%. Дослідження показали, що найкращі результати отримані при коксуванні

шихт з більш тонким помолом, при цьому вміст класу менше 0,5 мм не повинен перевищувати 45%.

Компонентний склад термічно підготовлених шихт повинен забезпечувати достатню усадку коксового пирога. З досвіду коксування шихт різного складу впливає, що не виникає ускладнень при видачі коксу з термічно підготовлених шихт, вихід летких речовин, у яких перевищує 30 %. Від моменту пуску установки до жовтня 2008 термічно підготовленою шихтою завантажено близько 20000 печей. У цьому установка працювала як і режимі короткострокових запусків (1-2 дня), і у режимі тривалої роботи. При нормативі роботи установок без резерву у 25 діб УТПШ Ясинівського КХЗ відпрацювала безперервно протягом 42 діб, після чого була планово зупинена [20].

Слід зазначити, що з тривалої роботі установка зупинялася і запускалася по 2 десь у добу циклічні зупинки. Це найжорсткіший режим експлуатації і, проте, устаткування установки працювало досить стійко. За час роботи установки був накопичений великий досвід безпечного ведення процесу, що дало можливість внести необхідні зміни до тимчасового технологічного регламенту установки.

На початку освоєння УТПШ весь процес нагрівання шихти проводився як ручного управління. Однак вже через два роки на установці впроваджено автоматизовану інформаційну систему з автоматичним управлінням основними контурами регулювання.

Це дозволяє будь-якої миті отримати повну характеристику режиму нагріву, а управління всією установкою здійснює один оператор з центрального диспетчерського пункту.

Накопичений досвід із завантаження та коксування термічно підготовленої шихти дозволив розпочати розробку технологічної схеми двопродуктового виробництва (кокс + газ) за участю технології термічної підготовки шихти.

## 2.4 Конструктивні особливості коксових батарей для коксування термічно підготовленої шихти

Порівняно з процесами коксування трамбованих шихт коксування ТПШ має основну перевагу - відсутність спеціальних вимог до конструкції типових коксових печей з висотою камер 4,3 м і до основних коксових машин (крім вуглезавантажувального вагона) [20, 21], та слід зазначити для збільшення терміну служби коксових батарей все ж рекомендовано підвищити стійкість кладки до навантаження.

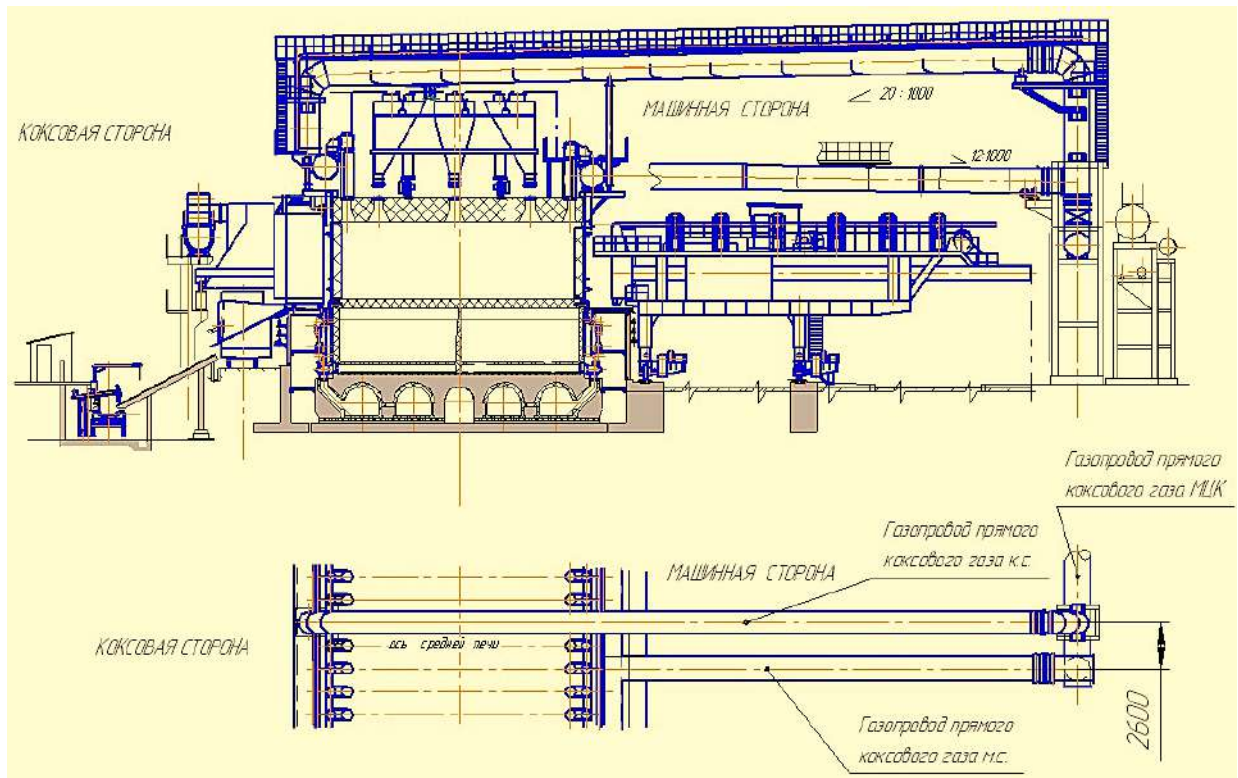
Конструкція коксової батареї враховує особливості коксування ТПШ (Рис. 2.3., Табл. 2.6):

1. При висоті камери 4,3 м середня ширина камер збільшена до 480 мм, а пічний крок становить 1300 мм. З урахуванням збільшеної товщини перекриття (1316 мм) та конусності (60 мм) це дозволить за більш високого тиску коксування забезпечити необхідну конструкційну міцність батареї.

2. Для зниження винесення вугільного пилу з газами завантаження і в перші 30-40 хв після завантаження діаметр газовідвідних колодязів стояків збільшений з традиційного розміру 380 мм до 450 мм, тобто, площа перерізу збільшена в 1,4 рази, що знижує швидкість протікаючих газів. Діаметр прохідного перерізу труби стояка – 480 мм;

3. З коксової сторони передбачений круглий газозбірник діаметром 1420 мм із вбудованими клапанними коробками. На період завантаження печей та в перші 30-40 хв коксування, а також за 1,0 год до видачі клапанні коробки відповідних печей будуть включені в газозбірник з коксової сторони, а решту печей відключено. Відповідно, на період завантаження та в перші 30-40 хв коксування свіжозавантажених печей клапанні коробки газозбірника з машинного боку будуть відключені. Тоді запилені гази, проходячи через газозбірник, а потім через підзвідні простори п'яти-шести печей, близьких до видачі, за рахунок втрати швидкості газу очищатимуться від вугільного пилу та надходитимуть до газозбірника з машинного боку. Надсмольна вода

газозбірника з коксової сторони містить переважно дрібні вугільні частинки, тому її освітлення відрізняється від традиційного. Евакуація надсмольної води від газозбірника проводитиметься на закріпленій індивідуально механізованій освітлювач.



**Рис. 2.3 Поперечний розріз коксової батареї № 4**

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [21]

4. Бездимне завантаження коксових печей забезпечується системою гідроінжекції евакуйованих газів у поєднанні зі спеціальним термостійким ущільненням примикання телескопів завантажувального вагона до рами завантажувального люка печі.

5. Ухил газозбірника з машинного боку (6 мм на один погонний метр) виконується до середини. У середину газозбірника безпосередньо врізається газопровід прямого коксового газу діаметром 1420 мм. Це рішення дозволяє забезпечити відведення конденсату із газозбірника без окремих трубопроводів зворотної аміачної води зі спеціальними гідрозатворами.

Таблиця 2.6

## Технічна характеристика КБ

Параметр	Значення
Кількість камер коксування, шт.	53
Корисний об'єм камери коксування, м <sup>3</sup> :	
– при завантаженні ТПШ	24,3
– при завантаженні вологою шихтою	25,2
Середня ширина камери, мм	480
Осьова відстань, мм	1300
Середня ширина простінка, мм	820
Конусність камери, мм	60
Висота камери (загальна), мм	4300
Висота камери (корисна), мм:	
– для ТПШ	3850
– для вологої шихти	4000
Осьова відстань між вертикалами, мм	480
Оборот печей, ч:	
– при завантаженні ТПШ	14,5
– при завантаженні вологою шихтою	18,0
Режим роботи батареї:	
– робочих днів при завантаженні ТПШ	329
– робочих днів при завантаженні вологою шихтою	36
Продуктивність в рік по коксу валовому 6 % вологості при роботі на ТПШ, тис. т/р	460
Продуктивність в рік по коксу валовому 6 % вологості при завантаженні тільки вологою шихтою, тис. т/р	383
Кількість вертикалів в опалювальному простінку, шт.	28
Ширина простінка з машинної сторони, мм	850
Ширина простінка з коксової сторони, мм	790
Ширина регенератора, мм	952
Ширина крайніх регенераторів, мм	320
Рівень обігріву, мм	800
Висота перекриття камери в холодному стані, мм	1316
Висота зони подових каналів и регенераторів, мм	2940
Висота корнюрної зони, мм	1194
Довжина простінка в холодному стані, мм	13980
Кількість газовідвідних люків, шт.	2
Кількість завантажувальних люків, шт.	3
Відстань від осі крайньої печі до контрфорсів, мм	2000

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [21]

Проектом верху батареї передбачається відведення коксового газу під час роботи КБ № 4 на вологій шихті за класичною схемою – двома газозбірниками. Для цього газозбірник з коксової сторони з'єднаний окремим перекидним газопроводом (ДК 1400) із загальним газопроводом прямого коксового газу (ДК 1600). При переході на роботу з ТПШ перекидний газопровід відключається запірною газовою арматурою .

Нова вуглезавантажувальна машина (УЗМ) функціонально призначена для завантаження в камери коксування як термічно підготовленої, так і вологій шихти. Для цього крім двох крайніх бункерів під ТПШ при роботі з вологою шихтою передбачений і третій (середній) бункер. Устаткування коксової батареї дозволяє оперативно протягом однієї години без затримок переводити коксову батарею в режим коксування як термopідготовленої шихти, так і вологій (температурний та гідравлічний режим батареї не змінюються).

Габарити попередньої коксової батареї дозволяють мати у складі нової 53 пічні камери. При роботі з вологою шихтою корисний об'єм камери складе 25,2 м<sup>3</sup>, і з ТПШ – 24,3 м<sup>3</sup> (внаслідок збільшення висоти підзводного простору з 300 до 500 мм).

Розрахункова річна потужність батареї на ТПШ при вмісті в ній летких речовин  $V^{daf} = 29,5\%$  і при обороті печей, що дорівнює 14,2 год, становитиме 500,0 тис. т на рік валового коксу з вологістю 6%, а при роботі з вологою шихтою - 377,0 тис. т.

## ВИСНОВКИ

1. Спосіб дозволяє отримувати міцний кокс з шихт з великим (70% і більше) вмістом вугілля, що слабо спікається.
2. Надає можливість отримувати кокс різного цільового призначення (високореакційний кокс для феросплавної та хімічної промисловості, бездимне паливо для енергетики тощо).
3. Підвищує продуктивність коксових печей на 30-70%.
4. Дає можливість експлуатувати коксові батареї як на нагрітій шихті, так і на вологій і дозволяє швидко перейти з однієї шихти на іншу.
5. Один із найбільш ефективних способів термічної підготовки шихти розроблений в Україні та не вимагає придбання дорогого імпортного обладнання.
6. Технологія термічної підготовки шихти та її завантаження в коксові печі є придатною для широкого промислового впровадження.
7. Проведені випробування УТПШ показали надійність розробленої технології та апаратурного оформлення процесу, що за низкою показників перевищує зарубіжні аналоги.
8. Технологія стабільно забезпечує високу якість коксу при коливаннях складу та властивостей шихти.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ярошевський С.Л. Ресурсозберігаючі технології металургійного виробництва на основі використання українського вугілля / С.Л.Ярошевський, А.В.Ємченко, І.В.Шульга, А.Г.Старовойт, О.М.Кузнецов, В.Г.Гусак, С.І.Кауфман, Ю.В.Філатов, О.І.Коломійченко, В.Є.Попов. – Харків: Контраст, 2012. – 204 с.
2. Ковалев Е.Т. Формирование свойств кокса. Реакционная способность / Е.Т.Ковалев, В.М.Шмалько, И.В.Шульга, А.В.Рыщенко // Углекимический журнал. – 2006. – № 5-6. – С. 13-20.
3. Филатов Ю.В. Эффективность применения кокса улучшенного качества («Премиум») при работе доменных печей с использованием пылеугольного топлива / Ю.В.Филатов, А.Н.Рыженков, А.В.Ємченко, В.Є.Попов, А.И.Дрейко, С.Л.Ярошевский, И.В.Мишин // Бюл. Черная металлургия. – 2011. – № 1. – С. 30-40.
4. Кузин А.В. Оценка гранулометрического состава кокса и порозности в нижней части доменной печи / А.В.Кузин, С.Л.Ярошевский Р.В.Ковальчик, А.А.Томаш // Сб. научн. тр. ДонГТУ. – 2008. – Вып. 27. – С. 192-200.
5. Naito M. Function of coke in a blast furnace. Development of Production and Utilization Technology of Coke with High Strength and High Reactivity / M.Naito, S.Nomura, K.Kato // Tetsu-to-Hagané. – 2010. – Vol. 96. – No. 5. – S. 17-24.
6. Гусак В.Г. Теория и практика подготовки металлургического кокса к доменной плавке / В.Г.Гусак, А.М.Кузнецов, А.В.Ємченко, В.Є.Попов, А.В.Кузин. – К.: Наукова думка, 2011. – 216 с.
7. Bennett P. Impact of PCI Coal Quality on Blast Furnace Operations / P.Bennett, T.Fukushima / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.coaltech.com.au/LinkedDocuments/Bennett\\_Fukushima.pdf](http://www.coaltech.com.au/LinkedDocuments/Bennett_Fukushima.pdf).
8. Ярошевський С.Л. Ресурсозберігаючі технології металургійного виробництва на основі використання українського вугілля / С.Л. Ярошевський, А.В. Ємченко, І.В. Шульга, А.Г. Старовойт [та ін.]. – Харків, ІПЦ Контраст, 2012. – 203 с.

9. Дышлевич И.И. Доменное производство Украины: новый подход к оценке качества кокса / И.И.Дышлевич, Н.Н.Изюмский, В.А.Журавлев // 8-й международный семинар «Уголь в металлургии и энергетике». Сб. докладов. Ялта, 2002. – С. 21-34.

10. Старовойт А.Г. Перспективы внедрения технологии выплавки чугуна с применением пылеугольного топлива // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – № 2. – С. 41-42.

11. Новости черной металлургии за рубежом. – 2007 – № 1. – С. 15-18.

12. Васильев Ю.С., Долгарев Г.В., Гордиенко А.И., Базов С.В. Расширение сырьевой базы и интенсификация процесса коксования благодаря термической подготовке шихты // Кокс и химия. – 2003. – № 11. – С. 11-13.

13. 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.

14. Пат. Украины UA №30133 от 11.02.2008. Оpubл. 11.02.2008. Бюлл. №3.

15. Васильев Ю.С., Долгарев Г.В., Гордиенко А.И., Базов С.В. Расширение сырьевой базы и интенсификация процесса коксования благодаря термической подготовке шихты. // Кокс и химия. – 2003. – № 11. – С. 11-13.

16. 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.

17. Гордиенко А.И., Редин В.А., Долгарев Г.В., Чаленко В.И., Вегеря И.Н. Опыт освоения и эксплуатации опытно-промышленной установки термической подготовки шихты на ОАО «Ясиновский коксохимический завод». // Углекимический журнал. – 2008. – № 5-6. – С. 22-25.

18. Васильев Ю.С., Гордиенко А.И., Долгарев Г.В., Юшков Е.А., Дудяк В.Н. О влиянии качества кокса, полученного из термоподготовленных шихт, содержащих слабоспекающиеся угли, на эффективность доменного процесса, использующего ПУТ // Углекимический журнал. – 2008. – № 5-6. – С. 38-40.

19. Грищенко С.Г., Гордиенко А.И., Саранчук В.И., Збыковский Е.И., Дудяк В.Н., Шевченко А.А. Производство видов высокорекреационного недоменного кокса из термоподготовленных шихт на типовых батареях с горизонтальными печами и их испытания // Углекимический журнал. – 2008. – № 5-6. – С. 41-45.

20. Ильяшов М.А., Гордиенко А.И., Збыковский Е.И., Старовойт А.Г., Ковалев Е.Т., Васильев Ю.С. Направления использования коксохимических мощностей переработки каменных углей. // Кокс и химия. – 2009. – № 6. – С. 28-32.

21. Чаленко В.И., Бежин В.И., Дариенко В.Е. Шульга И.В. Особенности конструкции КБ №4 (ПАО «Ясиновский КХЗ»), предназначенной для работы на влажной и термически подготовленной шихте (ТПШ) Углекимический журнал. – 2013. – № 6. – С. 43-49.

## **ДОДАТКИ**

## Звіт подібності

## метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок

Бессараб Владислав Юрійович

Автор

Науковий керівник / Експерт

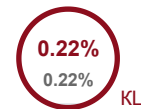
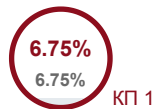
Бессараб Владислав Юрійович Шмельцер К.О.

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

## Обсяг знайдених подібностей

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



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

9362

Кількість слів

71293

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		0
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		51

## Подібності за списком джерел

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

## 10 найдовших фраз

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	<a href="http://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc/tom_5_rtf_3.pdf">http://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc/tom_5_rtf_3.pdf</a>	148 1.58 %
2	<a href="http://masters.donntu.org/2013/feht/dzhamirzaieva/diss/indexu.htm">http://masters.donntu.org/2013/feht/dzhamirzaieva/diss/indexu.htm</a>	93 0.99 %
3	Технології ресурсозбереження в металургії (Частина 1) 11/26/2021 Dniprovsk State Technical University (Dniprovsk State Technical University)	50 0.53 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

**ДОВІДКА**

про підготовку здобувача-випускника

Бессараб Владислав Юрійович  
(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 Вивчення перспективності технологій  
термічної підготовки вугілля

Керівник кваліфікаційної роботи: доцент, к.т.н. Десна Н.А.  
(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	Десна Н.А.	зарах	9.06.25	Десна	
2	Основна частина	Десна Н.А.	зарах	9.06.25	Десна	
3						
4						

Завідувач кафедри



( підпис )

К.О. Шмельцер

(ініціали, прізвище)

« 9 » червня 2025 р.

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

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

бакалавра

Здобувача Бессараба Владислава Юрійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Вивчення перспективності технологій термічної підготовки вугілля

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>58;</u>
таблиць	<u>8;</u>
схем і рисунків	<u>9;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

**Якісні відмінності кваліфікаційної роботи** бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена питанню вивчення можливості розширення сировинної бази коксування при застосуванні технології термічної підготовки вугілля.

В кваліфікаційній роботі на основі огляду літературних джерел були розглянуті вимоги до якості коксу і шляхи формування доменного коксу високої якості. Проведений аналіз принципів формування вугільних шихт для отримання коксу високої якості та сировинну базу коксохімічних підприємств. Розглянуті методи розширення сировинної бази коксування за рахунок залучення вугілля низької спіклivosti, переважно газової групи. Проаналізовано переваги і недоліки термічної підготовки вугілля, шляхи подолання технологічних складностей завантаження термічно підготовленої шихти та окреслені вимоги до обладнання, яке доцільно використовувати при коксуванні термічно підготовленої шихти.

Представлені результати впровадження технології термічної підготовки вугільної шихти на вугільних шихтах різного складу з оцінкою якості отриманого доменного коксу.

**Недоліки кваліфікаційної роботи** бакалавра  
(бакалавра, магістра)

В роботі не проведений огляд засобів термічної підготовки вугільної шихти з використанням різних способів термопередачі та апаратного оформлення процесу, та недостатньо уваги приділено обладнанню запропонованого методу.

В деяких місцях пояснювальної записки допущені стилістичні та орфографічні помилки та огріхи, в тексті зустрічається невдалий переклад.

**Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи** магістра, ступінь самостійності виконання роботи, вміння користуватися літературними матеріалами

Здобувач Бессараб В.Ю. під час написання кваліфікаційної бакалаврської роботи показав добру загальну та спеціальну підготовку, вміння працювати з літературними та нормативними джерелами. Над розділами роботи працював самостійно, висновки та розроблені рекомендації є актуальними, ефективними та економічно обґрунтованими.

**Можливість використання кваліфікаційної роботи** бакалавра

Розроблені рішення та рекомендації по впровадженні технології термічної підготовки вугілля для коксування дозволять отримувати високоякісний кокс з вугільних шихт з мінімальним рівнем спіклivosti, а саме товщиною пластичного шару 10-13 мм та можуть бути впровадженні на працюючих коксових батареях без їх реконструкції, можуть застосовуватися для КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

**Оцінка кваліфікаційної роботи** бакалавра

Керівник Десна Наталя Анатоліївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

« 2 » серпня 2025 р.

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

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

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

(бакалавра, магістра)

Здобувачки Бессараба Владислава Юрійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи

**Тема кваліфікаційної роботи** бакалавра

(бакалавра, магістра)

Вивчення перспективності технологій термічної підготовки вугілля

**Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи** бакалавра

(бакалавра, магістра)

Вибір та обґрунтування технології термічної підготовки вугільної шихти перед

коксуванням

**Переваги кваліфікаційної роботи** бакалавра

(бакалавра, магістра)

Проаналізовано основні технологічні прийоми (трамбування, брикетування та внесення органічних добавок) для розширення сировинної бази коксування та залучення більшої кількості слабоспівливих компонентів. Розкриті питання способів завантаження термічно підготовленої вугільної шихти та конструкції вуглезавантажувального вагону. Надано рекомендації щодо технічних характеристик та параметрів процесу коксування термічно підготовленої вугільної шихти.

**Недоліки кваліфікаційної роботи** бакалавра

(бакалавра, магістра)

В роботі не акцентовано, на різноманітні конструкції апаратів для термічної підготовки вугільної шихти, не розкриті питання термопередачі та характеристик теплоносія.

Також для літературного огляду необхідно використовувати більш сучасні джерела.

**Рекомендації:** робота може бути рекомендована до захисту.

Рецензент Шелесер Катерина Валентина

(прізвище, ім'я та по-батькові)

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

Шелесер  
(підпис)

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

Текст (вибрати необхідне):

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

Вивчення перспективності технологій термічної підготовки вугілля

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Бессараб Владислав Юрійович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 58 сторінки друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 6,75 %.

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 «13» червня 2025 р. протокол № 16.

Керівник підрозділу



(підпис)

К. Шмельцер

Дата «13» червня 2025 р.

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

Я, *Бессараб Владислав Юрійович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська (бакалаврська) робота (назва роботи повністю) 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.

13.06.2025



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

Я, Бессараб Владислав Юрійович, здобувач III курсу, групи ХТ-22ск Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

02.06.2025

  
\_\_\_\_\_

В. Бессараб