

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Лукаш Наталі Юріївни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему	<u>Вивчення існуючих технологічних схем для термічної підготовки вугілля та вибір оптимальної</u>
---------	---

(повна назва теми)

за матеріалами	<u>Техніко – економічні показники роботи КХВ ПАТ «АМКР»</u>
----------------	---

(повна назва бази дослідження)

Науковий керівник	<u>к.т.н., доцент</u>	<u>Десна Н.А.</u>
-------------------	-----------------------	-------------------

*(наук. ступінь, вчене
звання)*

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 20__ р. № ____

Завідувач кафедри

(підпис)

Наук. ступень, вчене звання Ініціали, прізвище

Кривий Ріг – 2026

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Хімічних технологій та інженерії

(підпис)
« ____ » _____ 20__ року
доцент, к.т.н.
Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання ,
прізвище, ініціали)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Лукаш Наталі Юріївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вивчення існуючих технологічних схем для термічної підготовки вугілля та вибір оптимальної

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 №228-ст від «6» квітня 2026 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2024

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

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

4.1 Аналітична частина: Пластичний стан вугілля його спікливість і коксівність, особливості впливу цих факторів на якість і структуру коксу. Огляд апаратури для лабораторних досліджень термічної підготовки вугільної шихти, світовий досвід застосування технології. Лабораторні дослідження їх особливості та характеристика сировини для повноти досліджень. Вибір необхідної кінцевої температури нагріву та вплив на вологість вугілля та шихт.

4.2 Основна частина: Світовий досвід впровадження і використання технології термічної підготовки вугільних шихт та технологічні схеми і устаткування. Досвід підприємств України та особливості застосування різного типу обладнання. Переваги і недоліки різних видів підводу тепла та способів його перенесення. Вплив термічної підготовки вугільної шихти на якість коксу і спікливість і коксівність окремих марок вугілля.

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		
2 Основна частина	Десна Н.А., доцент		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.26	
2.	Основна частина	26.05.26	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.05.26	
4.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
5.	Захист роботи в ЕК	17.06.2026	

Здобувач

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Лукаш Н.Ю. Вивчення існуючих технологічних схем для термічної підготовки вугілля та вибір оптимальної – Рукопис.

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

Бакалаврська робота присвячена дослідженню технології термічної підготовки вугільної шихти перед коксуванням як ефективного способу підвищення якості металургійного коксу та вдосконалення роботи коксохімічних підприємств. Актуальність теми обумовлена погіршенням якісних характеристик вугільної сировини, зниженням частки дефіцитного коксівного вугілля у шихтах та необхідністю забезпечення стабільної якості коксу для доменного виробництва.

На основі аналізу науково-технічних джерел і технологічних особливостей процесу встановлено, що попередній нагрів вугільної шихти сприяє підвищенню механічної міцності коксу, покращенню його структурних характеристик та забезпечує стабільність якості кінцевого продукту. Показано, що застосування термічної підготовки дозволяє розширити сировинну базу за рахунок залучення більшої кількості малометаморфізованого та слабкоспікливого вугілля без погіршення показників коксу.

Дослідження підтвердили, що використання технології термічної підготовки забезпечує зростання продуктивності коксових печей, скорочення тривалості коксування, зниження питомих витрат теплової енергії, зменшення обсягів стічних вод та підвищення ресурсу експлуатації коксових батарей. Встановлено, що комплексне впровадження даної технології сприяє покращенню техніко-економічних показників виробництва коксу та підвищенню ефективності роботи коксохімічних підприємств.

Ключові слова: термічна підготовка вугілля, вугільна шихта, коксування, металургійний кокс, насипна густина, спікливість вугілля, коксові печі, енергоефективність, якість коксу, коксохімічне виробництво.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Пластичний стан вугілля і його спікливість	11
1.2 Коксоутворення	14
1.3 Огляд апаратури для лабораторних досліджень процесу термічної підготовки	15
1.4 Проведення лабораторних досліджень	20
1.5 Характеристики вугілля яке було обрано для досліджень	21
1.6 Дослідження вологості вугілля і шихт в процесі їх термічної підготовки	26
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	29
2.1 Світовий досвід впровадження технології термічної підготовки вугілля	29
2.2 Досвід вітчизняних підприємств	36
2.3 Оцінка методів термічної підготовки вугілля	43
2.3.1 Попередній нагрів вугілля газоподібним теплоносієм в режимі протитоку	46
2.3.2 Попередній нагрів вугілля газоподібним теплоносієм в режимі псевдозрідження	51
2.3.3 Термічна підготовка вугілля у вихровій камері	55
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

Забезпечення доменних печей постійним за якістю коксом – одне з важливіших завдань технічного вдосконалення доменного виробництва. Досвід майже всіх без винятку підприємств показує, що постійність якості коксу може бути досягнуто лише при постійному забезпеченні високої якості вугільної шихти та при організації оптимально режиму коксування.

Зниження якості коксу, яке відбувається, пояснюється наступними причинами:

- погіршення марочного складу вугільних шихт за рахунок зниження дольової участі вугілля марок К та ПС, а інколи і зниження участі вугілля марки Ж;

- поступове зниження спікливості вугільних шихт, товщина пластичного шару знизилася майже на 2 мм, це наслідок залучення більшої кількості вугілля газової групи;

- підвищення зольності більшості вугільних концентратів, що призводить до збільшення зольності шихти.

Одночасна прагнення покращувати якість коксу і залучати у вугільну шихту більшої кількості газового і слабкоспікливого вугілля робить завдання не можливим без залучення нових технологій підготовки вугілля до коксування та технологічних прийомів процесу коксування.

Рішення цієї задачі можливе декількома напрямками:

- збільшення видобутку коксівного вугілля та його збагачення;
- вдосконалення існуючих і розробка нових технологій підготовки вугілля до коксування;

- розробка і впровадження нових, якісно більш прогресивних способів коксування вугілля.

Вдосконалення існуючих технологій підготовки вугілля в процесі коксування складається з цілого комплексу заходів і технологічних прийомів основним з яких є: збагачення вугілля, раціональне складання вугільних шихт,

оптимальний помол вугільних шихт для певного складу, вибіркове подрібнення вугільних шихт, збільшення насипної густини вугільного навантаження, термічна підготовка вугільної шихти перед коксуванням.

Збільшення щільності упаковки вугільних часток забезпечують більш тісний контакт між окремими зернами вугілля. Це покращує спікливість вугільних часток при коксуванні і підвищує механічну міцність коксу, що утворюється [1].

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

При існуючому способі завантаження коксових печей він дробленою вугільною шихтою залишається невикористаним. Внаслідок недостатньо щільного пакування частинок вугілля 35–50% корисного об'єму печної камери, що зменшує продуктивність печей та різко погіршує теплопередачу у вугільному завантаженні через зменшення коефіцієнта теплопровідності шихти. Для збільшення об'ємної маси, як у суміші вугілля та вугільної шихти, пропонують різні способи та засоби. Основні з них наступні: трамбування шихти, введення у шахту різної кількості брикетів або брикетування усієї шахти. Оптимальне подрібнення вугілля, додавання у шихту рідких та твердих речовин, сушка шихти і так далі.

Метод підвищення щільності насипної маси, коксованості, вугільного завантаження має деякі недоліки. Так, трамбування шихти передбачає наявність дорогого та складного обладнання, що помітно підвищує вартість отриманого коксу; введення у шихту утрамбованих вугільних блоків або брикетів, як показує досвід, незначно покращує якість коксу одночасно супроводжується зниженням продуктивності коксувальних печей.

Легко здійснимий метод використання введення в шихту мікро добавок органічних рідин, але можливості цього методу обмежуються, по суті, тільки невеликим підвищенням щільності вугільного завантаження, що ґрунтується на основному. Абсолютно різні технологічні прийоми ці методи. Обробки вугілля дозволяють у більшій або меншій мірі збільшувати щільність вугільного завантаження, підвищуючи таким чином коефіцієнт заповнення об'єму печатної камери.

Цей метод покращує умови спікання вугілля, дозволяє, не знижуючи якості отриманого коксу, збільшити при цьому вміст у шихті слабких спекаються вугільних частинок, щільність вугільного завантаження можна збільшити за допомогою глибокого сушіння вугілля, що, у свою чергу, є початковою стадією термічної підготовки вугілля. У процесі сушіння вугілля відбувається лише

видалення зовнішньої вологи, в результаті чого збільшується щільність вугільного завантаження. Процес же попереднього нагріву вугілля. Термічна підготовка значно глибше впливає не лише на технологічні властивості вугілля, але й на весь процес коксування загалом, оскільки вся маса вугілля швидко нагрівається поза пічною камерою і завантажується в неї вже нагрітою до визначеної температури. Як показують численні дослідження, метод коксування термічно підготовленого вугілля має значну перевагу: 1) збільшується щільність насипної маси вугілля. У зв'язку з цим покращуються умови його спікання; 2) збільшується продуктивність діючих печей для коксування. Як результат, внаслідок зменшення? Періоду коксування, так і за рахунок збільшення щільності завантаження 3. Подовжується період коксування без зниження продуктивності печей, що призводить. Дозволить збільшити як для коксування. Дозволить залучити для коксування. У більших широким масштабах газовий слабо спікаючийся вугілля 4 зменшується об'єм парогазових продуктів внаслідок попереднього видалення вологи та зменшення кількості стічних вод. 5. Зберігається кладка камер печей для коксування у зв'язку з збільшенням. Зменшення так званого термічного удару по завантаженню розглянемо дещо детальніше [1].

Деякі питання, пов'язані з можливістю зміни режиму коксування вугілля, оскільки решта положень цілком очевидні при завантаженні камери печі кількості тепла. Віднімаємо у стін свіжозамороженої вологої шихти з 1 години процесу як більше кількість. Підводимого тепла, через що теплосміст кладки стін різко знижується. Абсолютне значення зниження

Деякі питання, пов'язані з можливістю зміни режиму коксування вугілля, оскільки інші положення цілком очевидні при завантаженні камери печі кількістю тепла. Віднімається від стін свіжозамерзлої вологої шихти з 1 години процесу як звання більшеї кількості. Підводимого тепла, через що теплосприйнятливості кладки стін різко знижується. Абсолютне значення зниження теплосприйнятливості кладки практично тим більше, чим вища вологість шахти, оскільки для нагріву одного кілограма вугілля до двохсот

градусів потрібно тепла приблизно стільки ж, скільки для випаровування і нагріву до двохсот градусів десяти відсотків, що міститься в ньому в шихті при завантаженні коксівних камер вологою шихтою, температура в осьовій площині, завантажуючи завантаження, залишається нижче ста десяти градусів протягом восьми годин при періоді коксування рівному п'ятнадцяти годинам. Затримується підйом температури в часі у внутрішніх шарах на завантаженні волога створює ніби підпору тепловому потоку, тому по мірі випаровування її змінює. і швидкість прогріву, як у соєвої маси по ширині завантаження. Що призводить до розвитку в коксовому пирогу процесу тріщиноутворення. Для отримання. Міцного коксу вугілля до початку розм'якшення слід нагріти дуже швидко, а утворений напівкокс повільно. За звичайних же умов при коксуванні сирої шихти добре теплопровідний, розташований ближче до нагріваючої стінки камери, шар напівкоксу нагрівається дуже швидко, а погано. Провідний тепло при осьовому масиві вологої шихти прогрівається надзвичайно повільно при коксуванні ж термічно підготовленої нагрітої до двохсот-двохсот п'ятдесяти градусів шихти. А картина змінюється: зменшення перепаду температур між шарами вугільного завантаження дає можливість отримувати кокс більш рівномірної якості по ширині вугільного завантаження. І помітно менш тріщинуватий. Крім того, з'являється можливість у ширших межах змінювати швидкість підняття температури у вугільному завантаженні, не зменшуючи продуктивності печей. Таким чином, на основі наведених деяких переваг цей метод відкриває шляхи вдосконалення. Існуючі способи виробництва коксу дозволяють вирішувати основні завдання, що стоять перед коксохімічною промисловістю [2].

1.1 Пластичний стан вугілля і його спікливість

У природі протікають різноманітні процеси, пов'язані з синтезом органічних речовин і подальшим їх зміною під впливом тиску і температури. В результаті виходить найскладніші за складом і структурою речовини, подібне вугіллю. Природні процеси можуть бути штучно прискорені під впливом

підвищення температури, тому є можливість виразніше виявити розвиток та особливості цих процесів. Практично особливо важливе значення має комплекс фізичних явищ та хімічних реакцій, що протікають при температурі 350 – 500°C, що обумовлює, за певних умов, перехід вугільного речовини в пластичний стан.

Багато років тому були сформульовані поняття: Спікання вугілля – це здатність частинок вугілля при відповідній температурі з'єднуватися (спікатися) з утворенням компактного твердого залишку. Під коксуванням мають на увазі сукупність властивостей вугілля, які за певних умов забезпечують отримання коксу, що відповідає своїми якісними характеристиками певним вимогам.

Процеси, що протікають при нагріванні вугілля, слід розглядати як ланцюг паралельно послідовно реакцій, що протікають, а насамперед як одночасно протікає процес розкладання одних із синтез нових речовин. Ступінь розвитку основних суперечливих сторін цього єдиного процесу і визначатиме спікання вугілля та їх сумішей.

Утворення рідких речовин залежить від інтенсивності, розвитку реакції розкладання деяких високомолекулярних сполук, що входять до складу вугілля. Швидкість розкладання рідких речовин залежить від їхнього складу часу перебування в зоні високої температури і температури процесу.

При розгляді питань, що стосуються пластичного стану вугілля, неможливо не торкнутися таких важливих його характеристик, як температура початку утворення пластичного стану та затвердіння пластичної маси. Температура початку утворення пластичного стану зазвичай знаходиться в межах 350 – 430 °C, тобто значно перевищує температури, при яких починається термічна деструкція, і підвищується з ростом ступеня метаморфізму вугілля. Температури початку затвердіння практично для всіх вугілля знаходяться в межах 500–520 °C і майже не залежать від ступеня метаморфізму. Таким чином, температурний інтервал пластичності змінюється в межах від 150–170 до 60–70 °C і буває максимальним для коксівних і жирних вугілля.

З підвищенням швидкості нагрівання вугілля зона пластичного стану розширюється головним чином внаслідок підвищення температури початку

затвердіння, взаємодія ж вугільних зерен у процесі коксування представляє собою одну з різновидів гетерогенного процесу, на швидкість якого впливає величина поверхні зіткнення різних фаз, при цьому у взаємодії бере участь не вся кількість зернового, твердого і пластичного речовини відразу, а лише поверхневі молекули. Спочатку між вугільними зернами з'являється поверхнева зв'язок, що залежить від ступеня пластичності вугільних зерен, від величини їхньої поверхні та змочуваності, тощо. Унаслідок цього між зернами встановлюються й хімічні зв'язки, природа яких може бути різною. Більшість дослідників вважають, що спікання та агломерація представляють собою процес конденсації ароматичних сполук, що приводить до утворення високомолекулярних багатоядерних ароматичних сполук, що відрізняються високою термостійкістю, одночасно протікають і реакції дегідрування циклічних вуглеводнів. Таким чином, спікання можна уявити як поверхневий процес, глибина протікання якого визначається кількістю та в'язкістю розм'якшеної маси, що збільшується біля поверхні контакту вугільних зерен [2, 3].

В'язкість пластичної маси вугілля як показник її рухливості є найважливішим фактором процесу спікання. Існує тісний зв'язок між такими показниками пластичної маси вугілля, як в'язкість, газопроникність та здуття. Справді, чим вища текучість вугілля, тобто чим краще заповнюються проміжки між зернами, тим менша газопроникність і більше здуття цього вугілля при його коксуванні. З вугілля з однаковим пластичним шаром краще спікається те, у якого текучість пластичної маси більша. Можна вважати, що чим вищий вміст пластичної маси і її текучість, тим процес спікання вугілля зазвичай закінчується при температурі 550 °С. До цього часу в результаті з'єднання найбільш термічно стійких атомних групувань утворюється суцільний моноліт. Найбільший нагрів викликає подальше протікання хімічних реакцій та фізичних явищ, в результаті яких утворюється високотемпературний кокс. Весь процес освіти сповзаючого матеріалу та отримання з нього коксу. Приймає назву як осмислення з вищевикладеного слідує, що передвіз. Візуальна термічна підготовка вугілля покращує умови їх спікання, так як:

а) збільшуючи швидкість нагрівання вугілля в передбачуваному стані, що призводить до утворення великої кількості плавких компонентів, розширенню інтервалу пластичності та зниженню в'язкості вугілля в пластичному стані;

б) підвищується щільність вугільного завантаження.

1.2 Коксоутворення

При нагріванні напівкоксу від 550 °С до вищих температур продовжуються процеси термічної деструкції його органічної маси. При цьому продовжується подальша зміна молекулярної структури твердих залишків, що виражаються у зростанні дійсної густини коксу. Крім того, в результаті процесів поліконденсації продовжують зростати вуглецеві сітки, відбувається їхнє впорядкування.

Втрата маси напівкоксу супроводжується аза виділенням та зменшенням його обсягу. Жорстка структура (спекла маса) напівкоксу, внаслідок виникнення напрузі, розтріскується і утворюється шматки коксу.

При коксуванні в камерних печах ката процес протікає пошарово завантаження виникають напруги, так як ступінь усадки суміжних шарів кожен момент знаходиться на різних стадіях. Численні дослідження показують, що напруга викликана градієнтом температур у різних шарах вугільної завантаження. Також є причиною утворення тріщин у коксі. Таким чином, як утворення в цілому являє собою суму хімічних і фізики хімічних процесів і викликаних ними фізичних явищ [3].

Розвитку процес спікання зміцнення, а отже, та розвитку мережі тріщин, сприяють ожирінню та підвищенню щільності шихти та збільшення швидкості коксування. Термічна підготовка вугілля дозволяє істотно підвищити щільність шихти і швидкість коксування Іншими словами. Термічна підготовка вугілля дає можливість дуже сильно розвинути процес спікання зміцнення, тобто термічна підготовка рекомендується для шихт, що слабо спікаються.

При звичайному коксуванні вологі шихти протягом 6-8 годин температура завантаження в пічній камері становить близько 100 - 110 °С. При коксуванні

термічно підготовленої шихти температура вугільного завантаження у центрі камери підвищується безперервно. Вже в перші години коксування вона стає вищою ста градусів, тобто перепад температури між точками завантаження біля стін і в центрі камери при коксуванні термічно підготовлених шихта набагато менше, ніж при коксуванні вологих шихт. Зменшення градієнта температур шириною пирога, що коксується призводить до значного придушення розвитку процесу тріщиноутворення, тому термічна підготовка шихти дозволяє отримувати більш однорідний по крупності кокс, ніж при звичайному коксуванні.

Таким чином, особливість термічної підготовки полягає у можливості впливати на процес коксування, внаслідок чого більший розвиток може отримати процес спікання, міцність та зменшення процесу тріщиноутворення. З цих технологічних положень випливає, що термічна підготовка вугілля для коксування дуже ефективно напрям, поліпшення якості коксу і розширення сировинної бази за рахунок вугілля, що слабо спекається, при одночасному збільшенні продуктивності пічних камер [3].

1.3 Огляд апаратури для лабораторних досліджень процесу термічної підготовки

Попереднє нагрівання вугілля, а також вугільних шахт здійснюється в декількох різних апаратах, періодичної та безперервної дії, що дозволяють нагрівати порцію вугілля по 100 г. до кількох кілограмів для з'ясування залежності термічних. Властивостей підготовленого вугілля та якості одержуваного з них коксу від способу та швидкості попереднього нагріву в конструкціях різних нагрівальних пристроїв використовували не тільки теплообмін через стінку, а й кілька способів безпосереднього теплообміну між нагрівальним вугіллям і газом теплоносієм.

Стакан для термічної підготовки про виконуваний з жаростійкої сталі діаметром внутрішньої внутрішньої 80 мм висотою 210 мм, вміщав по 400 г. вугілля. Під час досвіду склянку закривали кришкою, що ущільнюється, через

яку була пропущена порожниста вісь мішалці обертається електромотором і опускали в електропіч всередині осі мішалки, поміщалася термопара для контролю температури вугілля в процесі нагрівання. Водяні пари, що виділяється, і гази відводили зі склянки через спеціальні трубки в кришці і потім направляли в уловлюючу апаратури (Рис. 1.1). Наявність 2 трубок у кришці дозволяло виробляти нагрів вугілля у різних середовищах. Нагрів контролювано контролювали також 2 додатковими термопарами, одна з яких реєструвала температуру стінки склянки, а 2 температура в печі.

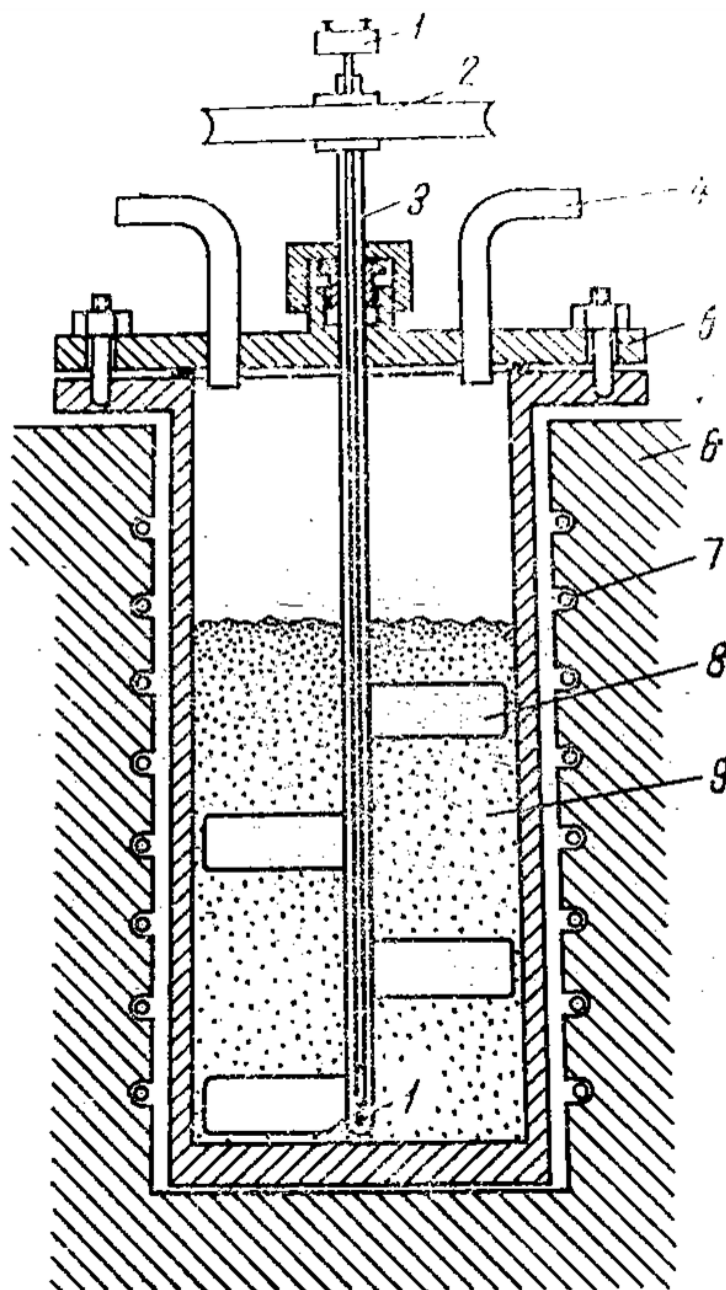


Рис. 1.1. Стакан для термічної підготовки вугілля:

Пальник разом з барабаном обрамлені в металевому кожусі. Барабан зачинявся самоущільнюючими кришками з двома патрубками для вводу і виводу газоподібних продуктів та кишеня для термопар, за допомогою якої контролювали температуру вугільного завантаження, що нагрівається.

В барабані можна протягом 5-10 хв. Прогріти до 300 – 350 °С 6 – 10 кг вугілля. Добра герметизація барабану і наявність двох самостійних каналів в його кришці дали можливість проводити попередню термічну підготовку вугілля в будь якому газовому середовищі, а також вловлювати продукти, що виділяються з вугілля в процесі його нагріву.

Укрупнена лабораторна установка для швидкісної термічної підготовки вугілля шляхом безпосереднього теплообміну між сипким тілом (вугільною шихтою) і газом-теплоносієм, що працює в режимі «падаючої насадки» (рис. 1.3).

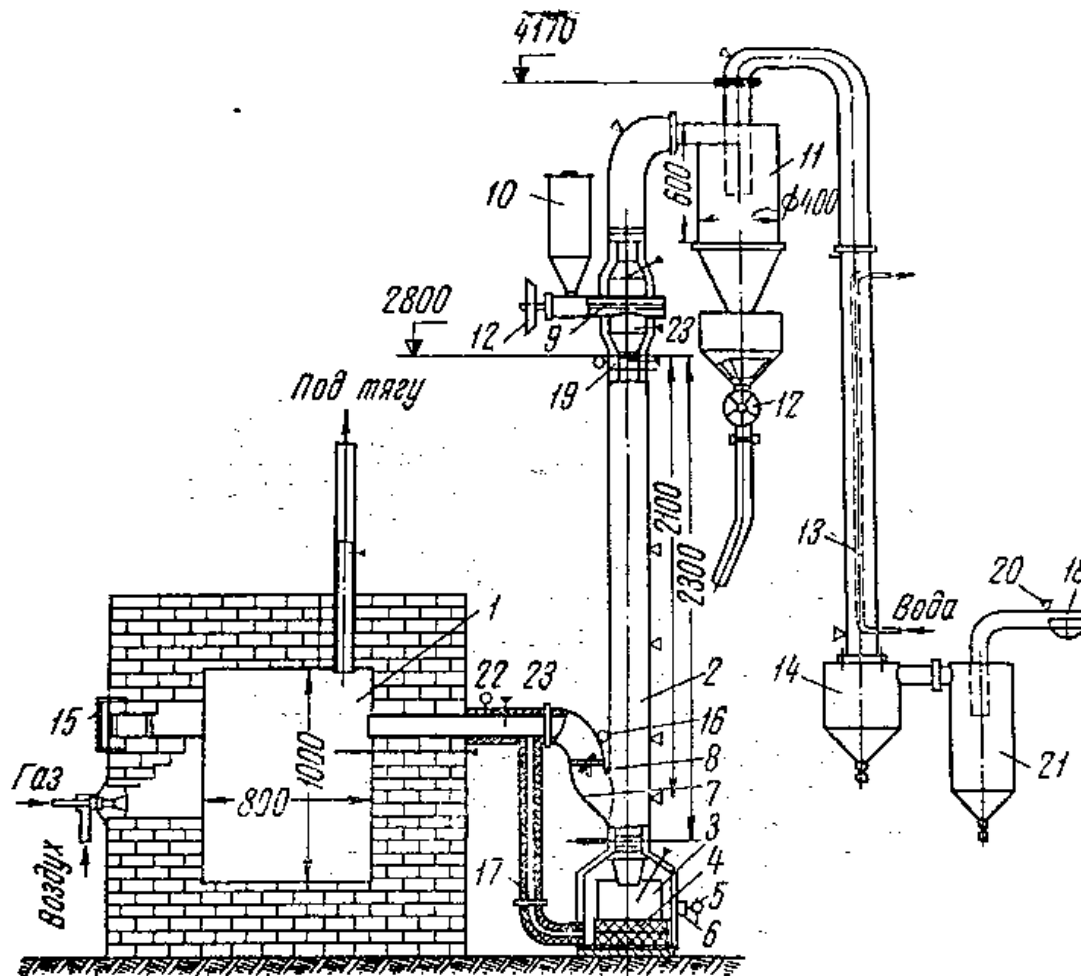


Рис. 1.3. Укрупнена лабораторна установка для термічної підготовки вугілля в потоці димових газів:

1 – камера для спалювання газів; 2 – труба-підігрівач; 3 – приймач для нагрітої шихти; 4 – приймач; 5 – дверцята приймача; 6 – запірний пристрій; 7 – коліно; 8 – шибєр; 9 – шнек; 10 – бункер для вологої шихти; 11, 21 – циклони; 12 – секторний запірний пристрій; 13 – холодильник; 14 – збірник конденсату; 15 – оглядове вікно; 16 – 18 – дросель; 19, 20 – термopара; 22-23 – трубки для виміру тиску.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [4]

Принцип роботи укрупненої лабораторної установки наступний: з камери згорання димові гази при температурі 400-600 °C потрапляють в нижню частину труби-підігрівача і, пройшовши крізь неї знизу ввєрх, потрапляє в циліндр 11. В верхній частині труби-підігрівача встановлений шнек, який рівномірно подає дослідну шихту на нагрів.

В нижній частині труби-нагрівача є приймач 3, що герметично зачиняється спеціальними дверцятами 5.

Димові гази очищуються в циклоні від вугільного пилу і пройшовши далі через холодильник 13 і кінцевий циклон 21, викидаються димососом в атмосферу.

Відокремлені в циклоні 11 від димових газів дрібні класи вугільної шихти секторним затвором рівномірно подаються в приймач, де змішуються з основною масою нагрітої шихти.

По наповненню приймача підготовленою шихтою останній виймається з приймача і переноситься в піч для коксування. Час нагріву окремої частини вугілля визначається часом її падіння в зустрічному потоці димових газів. Ступінь нагріву шихти регулюється змінами кількості димових газів, що проходять крізь установку, а також їх температурою.

Крім того, ступінь нагріву шихти може регулюватися змінами передаточного числа на шківі шнека, що подає шихту в трубу-нагрівач. Продуктивність шнека змінюється від 35 до 90кг вихідної шихти на годину.

Необхідна кількість димових газів утворювалася в результаті спалювання побутового газу в камері спалювання. Вимір температури під час термічної підготовки шихти відбувається в сімнадцяти характерних точках установки за допомогою термопар, з'єднані через перемикач з мілівольтметром [4].

1.4 Проведення лабораторних досліджень

Попередню термічну підготовку вугілля перед коксуванням здійснювали в одному з описаних апаратів. У більшості випадків навішення досліджуваного вугілля брали в таких розрахунках, щоб після попереднього нагрівання сировини вистачало для 2 паралельних коксуванні в лабораторній печі та для визначення насипної маси шахти та її сипкості та проведення технічного аналізу. Металева склянка з мішалкою служила головним чином для вивчення продуктів, що виділяються з вугілля в процесі його термічної підготовки.

Після завантаження у склянку 350-400 гр. досліджуваного вугілля, його закривали кришкою і до нього приєднували, вловлюючи апаратуру склянку з вугіллям поміщали в попередню нагріту до 300 °C електропечі потім включали привід мішалки, швидкість нагрівання могла змінюватися в широких межах. Процес термічної підготовки здійснювали при постійному надлишковому тиску в склянці, що дорівнює 1-2 мм вод. ст.

Після досягнення заданої температури склянку витягали з печі та швидко охолоджували вихід вологи та вуглекислоти визначали за прирістом ваги відповідних приладів. Склад зібраного в газометрі газу визначалися за допомогою газового аналізатора на апараті ВТІ.

Хороша герметизація склянки і система вловлювання, давала можливість вивчити вплив різних факторів на процес стрімкої підготовки і на вихід парогазових продуктів, що виділяються з вугілля і перехід їхнім нагрівом при проведенні процесу термічної підготовки.

У барабані, що обертається, була можливість підготувати таку кількість вугілля, яке було достатньо для виконання, декількох паралельних коксувань та

для виконання на необхідних аналізів перед завантаженням у барабан відбирали проби для проведення технічного аналізу.

Вугілля зважували, завантажували в барабан, який ретельно закривали кришкою. Після цього під кожухом запалювали газ і барабан, опускали на направляючі ролики і почали крутити термопарою, встановленої по осі барабана, спаї були постійно занурений у шар дослідного вугілля, що підігрівається, безперервно контролювали підйом температури вугільної маси.

Термічна підготовка вугілля в барабані тривала в залежності від заздалегідь заданої кількості температури їх нагрівання протягом 5 -10 хвилин. В результаті обертання барабана, що обігрівається по всій довжині спеціальним газовим пальником, досягався рівномірний підйом температури всієї маси вугілля. Водяні пари і гази, що виділялися в процесі нагрівання за необхідності вловлювалися в конденсаційній апаратурі, яка приєднана до газовідвідного апарату та приєднана до газовідавнього патрубка барабану.

Під час термічної підготовки вугілля на укрупненій лабораторній установці роботу проводили наступним чином. На початку в установці створювали відповідний режим, який був характеризувався температурами по всій висоті труби теплообмінника і витратними коефіцієнтами по газу і повітрю. Після цього вмикали електропривід шнеку і подавали вугільну шихту в трубу підігрівач. Нагріте вугілля збирали в приймач, який відчинявся по мірі заповнення приймача, що знаходився всередині.

Ступінь нагріву шихти контролювали термопарами, які встановлені по всій висоті труби-нагрівача і в самому приймачі нагрітої шихти. В процесі попереднього нагріву шихти в двох точках установки (до і після труби підігрівача) відбирали проби димових газів для проведення газового аналізу [5].

1.5 Характеристики вугілля яке було обрано для досліджень

При дослідженні процесу термічної підготовки були використані деяке вугілля основних басейнів та найбільш типові виробничі шихти кількох

коксохімічних заводів. Сировину для проведення дослідження вибрали з таким розрахунком, щоб по можливості повніше вивчити вплив термічної підготовки вугілля на технологічні властивості різних шихт та окремих їх компонентів, а також визначити можливість часткового забезпечення вугілля і шихт, що відрізняються підвищеною сірчистістю в процесі їх попередньої термічної обробки. У зв'язку з цим у використанні вугілля включаючи газове вугілля рядових шахт донецького басейну.

Крім того, результати дослідження кількох різновидів газових і слабоспівливих марок вугілля, і виробничих шихт зі значною участю в них вугілля цих марок дозволили з'ясувати можливість розширення сировинної бази коксування в результаті більшого використання газового і слабоспівливого вугілля в шахтах.

У таблиці 1.1 наведено окремі марки вугілля та склад вугільних шихт, що використовувався під час проведення досліджень.

Таблиця 1.1

Дослідні вугілля і шихти

Марка вугілля	Номер вугілля	Номер і склад, % шихти								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Г	1	0	21	0	0	36	40	26	0	0
Г	2	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Г	3	25	10	0	0	0	0	0	0	0
Г	4	0	0	0	16	0	0	0	0	0
Ж	5	40	31	0	0	0	0	0	0	0
Ж	6	0	0	0	0	0	0	0	45	0
Ж	7	0	0	85	0	0	0	0	41	0
Ж	8	0	7	0	0	0	0	0	0	0
Ж	9	0	0	0	0	0	0	0	0	34
Ж	10	0	0	0	0	17	15	27	0	0
Ж	11	0	0	0	22	0	0	0	0	0

Продовження таблиці 1.1

КЖ	12	0	0	0	0	0	0	0	0	18
КЖ	13	0	0	0	14	0	0	0	0	0
КЖ	14	0	0	0	0	0	0	10	0	0
К	15	20	13	0	0	0	0	0	0	0
К	16	0	11	0	0	0	0	0	0	0
К	17	0	0	0	30	0	0	0	0	0
К	18	0	0	0	13	27	15	15	0	0
ПС	19	0	0	0	0	20	30	0	0	0
ПС	20	15	7	0	0	0	0	0	0	0
ПС	21	0	0	15	0	0	0	0	14	0
СС	22	0	0	0	5	0	0	22	0	0
СС	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ПС+Г	24	0	0	0	0	0	0	0	0	18

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5]

Дані технічного аналізу, пластометричні показники та щільність насипних мас, досліджуваного вугілля та шихт наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Якісні і технологічні показники вугілля і шихт

Номер вугілля	Марка	Технічний аналіз, %				Пластометричні показники, мм		Щільність насипної маси, кг/м ³
		W ^a	A ^d _t	V ^{daf}	S ^d _t	x	y	
3	Г	1,75	6,5	37,9	2,30	34	19	680
19	ПС	1,27	8,20	13,7	0,63	15	13	740
15	К	2,10	7,23	21,2	1,86	9	18	760
8	Ж	3,46	6,62	27,0	0,84	16	23	660
10	Ж	2,40	9,85	36,5	1,50	35	26	680

23	СС	1,94	9,85	20,2	0,42	18	11	780
4	Г	3,30	6,60	37,4	2,13	31	17	640
1	Г	1,90	7,40	40,5	2,41	28	9	630
Шихти								
1		3,72	7,21	27,5	1,96	21	22	650
2		1,33	7,88	30,2	2,23	20	15	720
3		1,50	10,70	30,1	0,74	28	13	720
4		1,80	8,40	25,0		26	15	690
5		2,13	8,70	28,1		30	12	650
6		2,16	8,70	28,0		36	12	640
7		2,0	8,60	29,8		30	13	750
8		3,2	7,67	28,1		41	11	650

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5]

Як видно з таблиці, дослідне вугілля і шихти суттєво відрізняються як по виходу летких речовин так і по показникам спікливості. Використання у дослідженнях донецького вугілля і шихт з їх участю найчастіше підвищують вміст сірки та рівень спікливості. Суттєво відрізняються і показники щільності насипної маси вугілля, які залежать від ступеня їх подрібнення і вологості.

В таблиці 1.3 приведені ситовий склад дослідних шихт.

Таблиця 1.3

Ситовий склад вугільної шихти

Шихта	Вихід класів, %				
	0 – 0,5 мм	0,5 – 1 мм	1 – 2 мм	2 – 3 мм	> 3 мм
1	41,3	28,4	13,7	9,1	7,5
2	46,4	28,9	5,1	11,9	7,7
3	48,4	24,0	10,9	9,5	7,2
4	36,7	28,2	16,4	10,7	8,0
5	49,8	23,3	8,2	9,6	9,1

6	47,7	24,1	9,1	9,4	9,7
7	38,9	31,6	15,2	6,6	7,7

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5]

Під час виконання дослідження постійне вивчення ситового складу вугілля проводили для визначення ступеня його подрібнення в результаті термічної підготовки.

Для оцінки коксуючихся властивостей вугілля і шихт та вивчення якості отриманого коксу проводили коксування всього дослідженого вугілля звичайним методом в лабораторній печі. Якість коксу, отриманих з дослідного вугілля і шихт, представлена в таблиці 1.4 та 1.5.

Таблиця 1.4

Якість коксу, отриманого в лабораторній печі з термічно непідготовленого вугілля

Номер вугілля	Ситовий склад коксу, %					
	> 40 мм		40-25 мм		< 10 мм	
	Після скидання	Після 150 обертів барабану	Після скидання	Після 150 обертів барабану	Після скидання	Після 150 обертів барабану
3	90,1	59,1	7,0	21,1	1,0	10,8
19	89,3	62,0	7,7	27,5	1,9	5,3
15	87,2	73,1	4,6	16,2	3,3	6,1
8	82,6	60,3	14,2	27,7	2,2	3,9
10	76,0	46,5	18,0	37,5	-	2,3
23	82,7	38,0	5,6	19,3	6,3	29,0
4	83,1	51,0	13,8	34,0	2,7	9,3
1	79,1	32,9	16,0	43,3	3,0	11,8

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

Таблиця 1.5

Якість коксу, отриманого в лабораторній печі з термічно непідготовлених шихт

Номер шихти	Ситовий склад коксу, %					
	> 40 мм		40-25 мм		< 10 мм	
	Після скидання	Після 150 обертів барабану	Після скидання	Після 150 обертів барабану	Після скидання	Після 150 обертів барабану
1	89,7	51,2	7,3	33,7	-	7,1
2	94,1	67,2	3,1	20,1	2,2	9,9
3	90,8	56,5	5,7	33,2	2,8	7,7
4	92,1	63,8	4,6	29,8	3,1	5,9
5	93,1	60,2	2,8	26,1	4,0	12,0
6	92,5	63,0	3,9	23,5	3,0	6,5
7	88,1	75,0	7,2	16,5	3,3	7,5
8	70,5	51,0	23,8	37,2	3,6	7,7

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

1.6 Дослідження вологості вугілля і шихт в процесі їх термічної підготовки

Як вже зазначалося, вологість вугілля і шихт суттєво впливає на їх технологічні властивості і на процес коксування.

Перший і найбільш очевидний вплив вологи – зміна питомої теплоємності вугілля. Відомо, що вугілля в сухому стані має питому теплоємність, яка рівна біля 0,3 теплоємності води. Відповідно, чим вище вологість вугілля, тим більше його питома теплоємність і тим менше швидкість нагріву його при всіх інших рівних умовах.

В тому ж ступені волога впливає і на сипкливості вугілля і шихт. Зниження вологості призводить до збільшення насипної маси завантаженого в камеру вугілля, при цьому збільшується коефіцієнт теплопровідності вугільного завантаження.

І на сам кінець, водяні пари розбавляють газоподібні продукти, які утворюються при термічній деструкції вугілля і впливають на ступінь їх піролізу в коксовій камері.

Тому важливо визначити залежність вологості різного вугілля і шихт від кінцевої температури їх термічної підготовки.

В процесі дослідження постійно визначали робочу і аналітичну вологу дослідного вугілля і шихт.

Зміна вологи в залежності від температури термічної підготовки представлені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

**Вплив кінцевої температури нагріву вугілля на його вологість
(зовнішній нагрів)**

Номер вугілля / шихти	Вологість не обробленого вугілля	Вологість вугілля під час нагріву до температури				
		100	150	200	250	300
3	7,41	2,10	0,95	0,37	0,22	0,10
19	4,40	0,96	0,57	0,33	0	0
15	5,80	1,00	0,61	0,21	0,05	0
8	4,11	1,33	0,72	0,56	0,40	0,19
10	2,04	1,06	0,57	0,25	0,16	0,06
23	2,10	0,65	0,42	0,18	0	0
4	4,10	1,22	0,75	0,38	0,10	0
1	4,30	0,93	0,60	0,20	0,07	0
Шихти						
1	6,00	2,30	0,79	0,27	0,14	0,03

2	4,60	0,91	0,50	0,33	0,20	0,01
3	5,50	0,58	0,22	0	0	0
4	3,90	0,80	0,30	0,16	0,05	0
5	7,10	0,83	0,40	0,06	0	0
6	7,60	0,80	0,50	0,06	0	0
7	6,20	1,34	0,81	0,26	0,14	0,02
8	6,80	0,82	0,40	0,05	0	0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [6]

З приведених даних видно, що вже при попередньому нагріві вугілля до 100 °С з нього видаляється значна кількість зовнішньої вологи (70 – 80 %). При цьому кількість вологи, що лишається різна в різному вугіллі і його подрібнені.

Тобто видно, що при термічній підготовці і нагріві до 200 – 250 °С з більшості вугілля практично повністю видаляється зовнішня волога.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Світовий досвід впровадження технології термічної підготовки вугілля

Перша спроба здійснити в напівпромислових масштабах процес термічної підготовки вугілля з наступним їх коксуванням можна вважати дослідження, представлене в 1926 фірмою Копперс на одному з канадських коксохімічних заводів. Фірма всебічно випробовувала метод термічної підготовки вугілля з гарною та середньою спікливістю. Пристрій для термічної підготовки та завантаження нагрітого для камери коксових печей було змонтовано на вагонетці, що переміщається по верху печей апаратом для нагріву вугілля служив барабан, що обертається зовні газу. Завантаження попередньо нагріте до 150-180 °С вугілля в коксові камери не викликало особливих труднощів [7].

Аналогічні досліди цієї фірми більше наведені в тридцять. У 30 роках у Німеччині вугілля нагрівали в барабані, що обігрівается зовні і частково зсередини, і потім його завантажували в промислові печі, більш детальні відомості про результати дослідів не опублікувалися.

Досліди з коксування у промислових печах термічно підготовленого вугілля проводилися й у США. Термічна підготовка здійснювалася доволі примітивно. Вугілля періодично завантажувалося в бункер і через нього пропускали перегріту пару. Період термічної підготовки тривав 35 – 45 годин. Бункер, що пересувається по верху печі на спеціальному візку, служив і для завантаження нагрітого вугілля в камері коксових печей. Дослідження довели можливість покращення якості коксу при завантаженні в камери, термічно підготовлений шихт.

Найбільших масштабах дослідження та практичне здійснення процесу термічної підготовки та вугілля проводився у Франції. Питання термічної підготовки вугілля перед коксуванням у Франції приділяють велику увагу, причому цей метод застосовується вже у промислових масштабах, особливо у

виробництві побутового палива на коксохімічних заводах у Брюлі. Протягом понад тридцяти років коксова піч і завантажуються вугіллям нагрітим до 80 °С. З 1961 року на коксохімічному заводі в місті Оганджанянж на попередньо підсушеному до вологості 12% вугіллі працюють 2 коксові батареї 60 печей. Більшість дослідженої у Франції у сфері виробництва металургійного коксу спрямовано вивчення можливостей застосування для коксування шихт з великою участю місцевих слабо спікання вугілля, що має особливо важливе значення для Лотарингії коксохімічні заводи лоток геній приймають для коксування наступне вугілля. Місцеве жирне вугілля Б і Саровське полум'яне жирне вугілля А і привозне вугілля. До дорогого привізного вугілля відносяться вугілля Німеччини, що видобуваються в рурському і балхаському басейнах. Це вугілля високоякісне і дороге [8].

Добре відомо, що якість коксу, одержуваного з вугілля, що слабо спекається, можна поліпшити збільшенням, збільшенням щільності шихти, яка значно підвищується зменшенням її вологості. Так, при зменшенні вологості шахти з 7-8% до 2 % щільність її збільшується на 15%. Виходячи з цього, французькі дослідники рішуче спробували розробити метод коксування сухих шихт. Спосіб завантаження коксової печі сухою вугільною шахтою було застосовано на півночі Франції понад 60 років тому. Для отримання побутового твердого палива Карбо люкс. Експериментально інститут Маріно ретельно вивчив і намагався впровадити цей метод, який отримав назву процес Маріно. В 1997 році було прийнято рішення про застосування цього методу [9].

Внаслідок досліджень, проведених інститутом Сершар на дослідній станції Марино і на заводі Агонданже, було встановлено, що застосування завантаження сухої шихти дозволяє збільшити частку участі дешевих вугілля, що слабо спікаються, в шихті не погіршує якість коксу і підвищити продуктивність коксових печей.

Коксування проводилося в чотирьохсот кілограмових печах при середній температурі в опалювальних каналах 1270 °С і температурі в центрі пирога в кінці коксування 1100 °С. Якість коксу, одержуваного з досліджених шихта різної

вологості було високими. З наведених даних, а також інших досліджень видно, що зміни вологості впливає головним чином на показник M10. Коксування підсушеної шихти дає змогу знизити участь у шахті привозного коксівного вугілля 45 – 55 до 30 і навіть у деяких випадках до 20%.

Позитивна дія сушіння шихти за даними станції Марино, пояснюється, з одного боку, збільшенням насипної маси завантаження з іншого, покращенням умов теплопередачі всередині камери коксової печі, що виробляє до збільшення швидкості коксування в період утворення пластичної маси. Всі ці висновки підтверджуються результатами спеціальних поставлених досліджень та опубліковані в літературі.

Продуктивність коксових печей, що завантажуються сухою шихтою, збільшується для більшості досліджуваних шахт у середньому на 2,5 % на кожний відсоток зменшення вологості шихти таким чином при зниженні вологості з 10 до 2% продуктивність коксових печей може зрости на 20-25%.

На рисунку 2.1 показаний план вуглекопного блоку заводу в Агонданже з розташуванням агрегатів для підготовки та коксування сухої шихти. Вугілля з вуглеприймних ям 1 надходить на барабанну дробарку 2 дробиться до 40 мм і транспортером направляється у 20 силосів дозувального відділення 3. З дозувального відділення шихта надходить у дробильне відділення 4, де подрібнюється молотковими дробарками Хейккіля продуктивністю 200 т/г дробарка може працювати на 2 режимах [10].

При коксуванні вологої шихти, що містять від 50 до 60% щодо твердих сааро-латарингському вугіллі дробарка дає 85-90% класу менше 2 мм при дробленні шихти призначене для подальшого сушіння ступень подрібнення встановлюється менше, ніж при завантаженні печей волого шихтою, що досягається зниженням кількості обертів ротора дробарки. Після дроблення шихта транспортером подається або у вугільну вежу 5, або проміжний бункер 10 ємністю 700 тон, звідки направляється у відділення для сушіння вугілля 11. Підсушена шихта з температурою 40-45 °С спеціальним транспортером подається в промислові приміщення 12 де шихта піддається вибіркового

дробленню, а звідти в вежу 13 для сухої шихти і з цієї вежі з суха шихта завантажується спеціально обладнаним вагоном завантаження в камері коксування печей батареї 6 і 7. Контроль процесу здійснюється з пульта управління 14. Кокс у відділенні як з розсортування розсіюється на гуркотах.

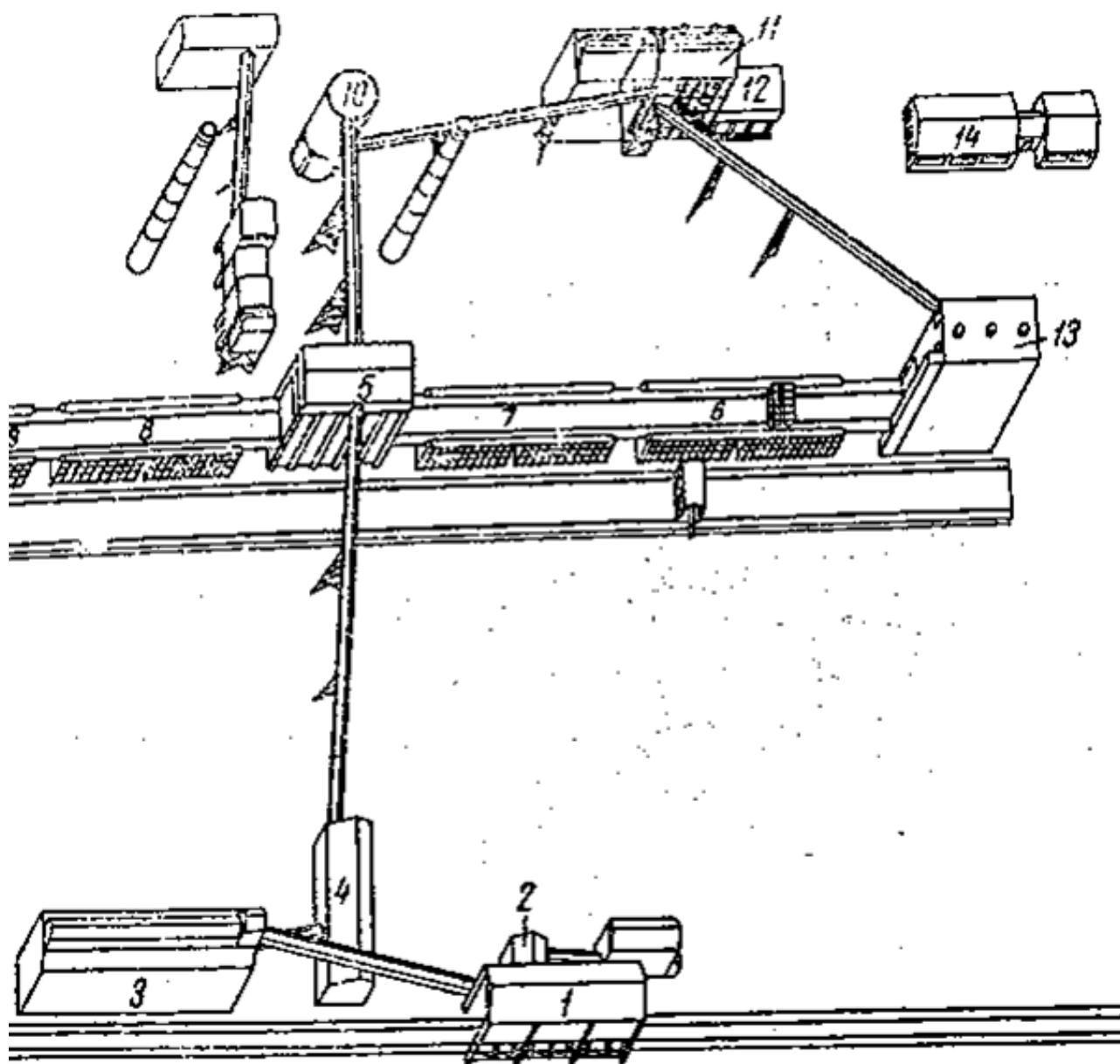


Рис. 2.1. Схема установки для коксування підсушеної шихти

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8]

Опубліковані останнім часом дані про роботу кількох промислових установок по сушінню вугілля в різних країнах дозволяють судити про ефективність використання деяких способів нагріву в цьому процесі. Дуже цікаво порівняти роботу двох установок, заснованих на різних принципах теплообміну (табл. 2.1). Одна з них вібраційна сушарка, псевдозрідженого режиму, інша, звичайна барабанна сушарка.

Таблиця 2.1

Робота установок для сушки вугілля

Показники	Вібраційна	Барабанна
Час сушіння, хв.	4	20
Робота тепла на випаровування 1 кг вологи, ккал	850	1500

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8]

А великі науково-дослідні роботи з промислового застосування процесу термічної підготовки вугілля проводилися в Англії. Фірма Юнайтед Коук енд Коміксу розробила проєкт із умисної установки для термічної підготовки вугільної шихти, нині закінчується спорудження цієї установки на заводі в місті Брукхаус. Проєктом передбачаються завантаження термічно підготовленої шихти в коксовій печі 2 батарей коксохімічного заводу. У Канаді фірма Алгома Стил Корпорейшн споруджує поблизу міста Солт Сент Марі нову батарею коксових печей. Батарея складається із 60 печей висотою камери 5 м об'ємом 35 м³. Вироби, пристосовані для завантаження термічно підготовленого вугілля, передбачається сушінням та термічна підготовка шихти димовими газами в трубі підігрівача.

Продуктивність установки 60 тон на годину в Айронтона, Огайо, США успішно розробляють працює дослідно-промислова установка для термічної підготовки вугілля в режимі псевдозріджена. В даний час вона реконструюється і працюватиме як промислова в США. В даний час експлуатуються кілька досить великих установок для сушіння вугілля, що працюють у режимі псевдозрідження [11].

Деякі дані про їхню роботу представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Робота установок для сушки вугілля в псевдозрідженому стані в США

Діаметр сушарки	Продуктивність по вологому вугіллю, т/г	Крупність вугілля, мм	Вологість вугілля		Температура теплоносія на виході, °C	Навантаження по вологі, кг/м ² г
			початкова	кінцева		
2,0	85-100	0-6	11,0	2,0	600-800	2600-2900
4,2	175	0-15	14,5	4,0	412	1300
2,0	80	0-6	12,0	3,0	425-480	2360

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11]

Наведені в таблиці дані дозволяють зробити висновок про ефективність промислових установок сушіння вугілля. Зниження вологості вугілля з 11 – 14 до 2 – 3% за їх досить значної продуктивності.

Усі схеми установок, що розглядаються досі, встановлювалися на використанні для сушіння вугілля теплообміну в режимі псевдозрідження. Деякими дослідниками розробляють інші принципи сушіння та термічної підготовки сипких матеріалів. Ціла низка процесів, що розробляються в останні роки базується на застосуванні як основний нагрівач агрегату вихрової камери.

Так, в інституті горючих копалин розроблено комплексний енерготехнологічний спосіб окускування вугільного дріб'язку вугілля, що слабо спекається, методом безперервного коксування, в результаті якого можна отримати високоякісне бездимне паливо.

Запропонований процес отримання бездимного палива включає кілька етапів, одним з яких є швидкісний нагрівання подрібненого вугілля газом теплоносієм до температури пластичного стану в двоступінчастій системі вихрових камер.

Технологічна схема процесу отримання бездимного палива наводиться на рисунку 2.2, вихідне вугілля, що піддається грохоченню носія і додатково подрібнюється на дробарці до розміру менше 3 мм, швидкісний нагрів вугілля до температури пластичного стану здійснюється в 2 ступені у вихровому камерах. Для формування з нагрітого вугілля пластичної маси і окускуванню його служать форкамерний процес. З пресу формування подаються шнеком у прокалочну піч, прожарена до 700–800 °С окускування паливо вивантажується з печі, гаситься водою і вирушає на склад. На установці передбачено рециркуляцію газу теплоносія.

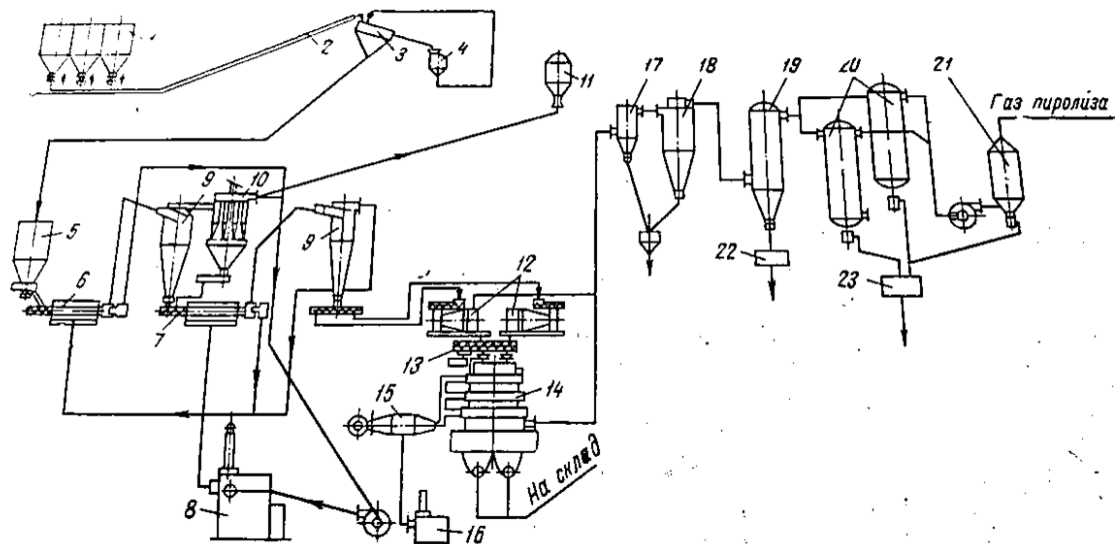


Рис. 2.2. Схема дослідно-промислової установки з отримання бездимного побутового палива і хімічних продуктів з дрібного енергетичного вугілля

1 - бункер для вугілля; 2 – транспортер; 3 – грохот; 4 – молоткова дробарка; 5 – проміжний бункер; 6 – вихрова камера першого ступеню нагріву; 7 – вихрова камера другого ступеню нагріву; 8, 16 – топки для отримання газу-теплоносія; 9, 10 – циклони; 11 – мокрий пиловловлювач; 12 – форкамерний прес; 13 – шнек; 14 – піч прокалювання; 15 – підігрівач повітря; 17 – сепаратор; 18 – циклон; 19 – скруббер; 20 – холодильник; 21 – електрофільтр; 22 – збірник смоли; 23 – збірник легкої смоли.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

подається на гуркіт, на якому відокремлюється клас більше 6 мм, що йде на дроблення. Клас менше 6 мм і подрібнене вугілля термічно підготовлене вугілля в проміжний бункер. Відпрацьований газ теплоносій додатково очищається від пилу циклоні 7 і викидається в атмосферу. Частина відпрацьованого газу теплоносія повертається на рециркуляцію. Продуктивність установки 7-10 тон шахти на годину. Тривала робота таких порівняно великих за своєю продуктивністю сушарок, що забезпечують сушіння вугільної шихти до 2% вологості з подальшим її завантаженням в камери коксування печей дозволяє сподіватися, що технічне здійснення в промислових масштабах.

Схема установки, побудована для сушки шламу на Ясенівському коксохімічному заводі, перенесена на рисунку 2.4.

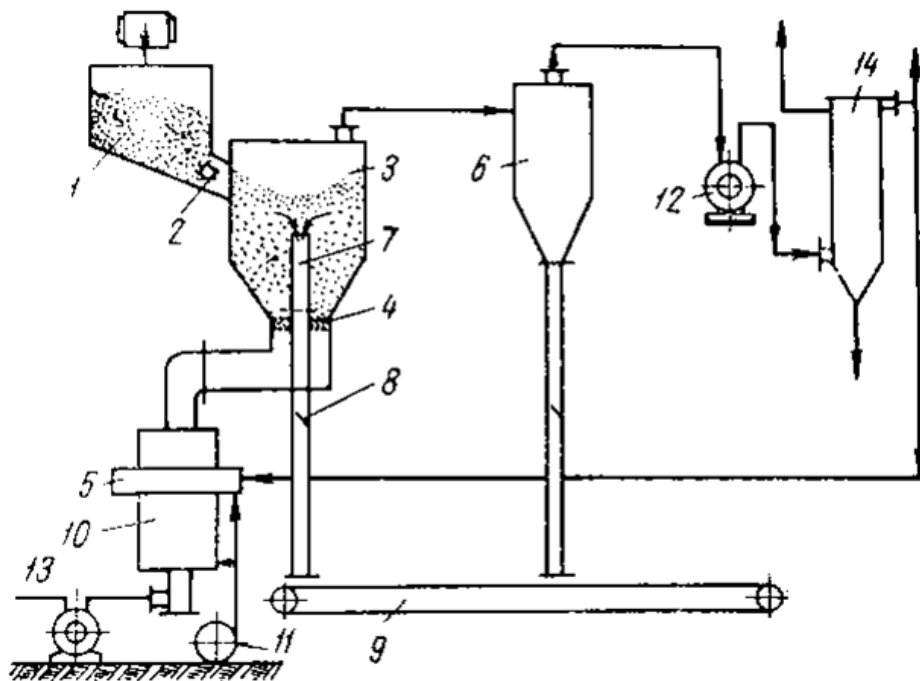


Рис. 2.4. Схема дослідної установки для сушки вугілля в режимі псевдокипіння на Ясенівському КХЗ

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [13]

Шлам, що падає на сушку з бункера один за допомогою ланцюгового скидача 2, вводиться в реактор псевдозріджених шару 3, який має знизу газорозподільну решітку 4. Підсушене вугілля «кипить» і виводиться з зони теплообміну через переливний патрубок 7 і мігалку 8. Псевдокиплячий шар

створюється нагнітачами 11 і витяжною 12. Газ у топку 10 з камерою змішування 5 подається спеціальним газодувкою 13. Газ-теплоносій після реактора проходить через систему пиловловлювання 6 і 14, частково подається в камеру змішування 5. Вугілля та вугільний пил надходять на транспортер 9.

Установка, споруджена на Дніпродзержинському коксохімічному заводі має аналогічний принцип дії, відрізняється лише розташуванням переливного отвору не в центрі, як це було зроблено на щойно розглянутій установці, а збоку, що дозволило дещо покращити рівномірність сушки.

Схема встановлення показана на рисунку 2.5 вугілля подається в реактор зверху і розподіляється рівномірно за допомогою розкидача на решітці, підсушене вугілля відводять збоку, псевдокиплячий шар створюється за допомогою вентилятора. Іде відсмоктування, відпрацьований теплоносій після реактора проходить через систему циклонів.

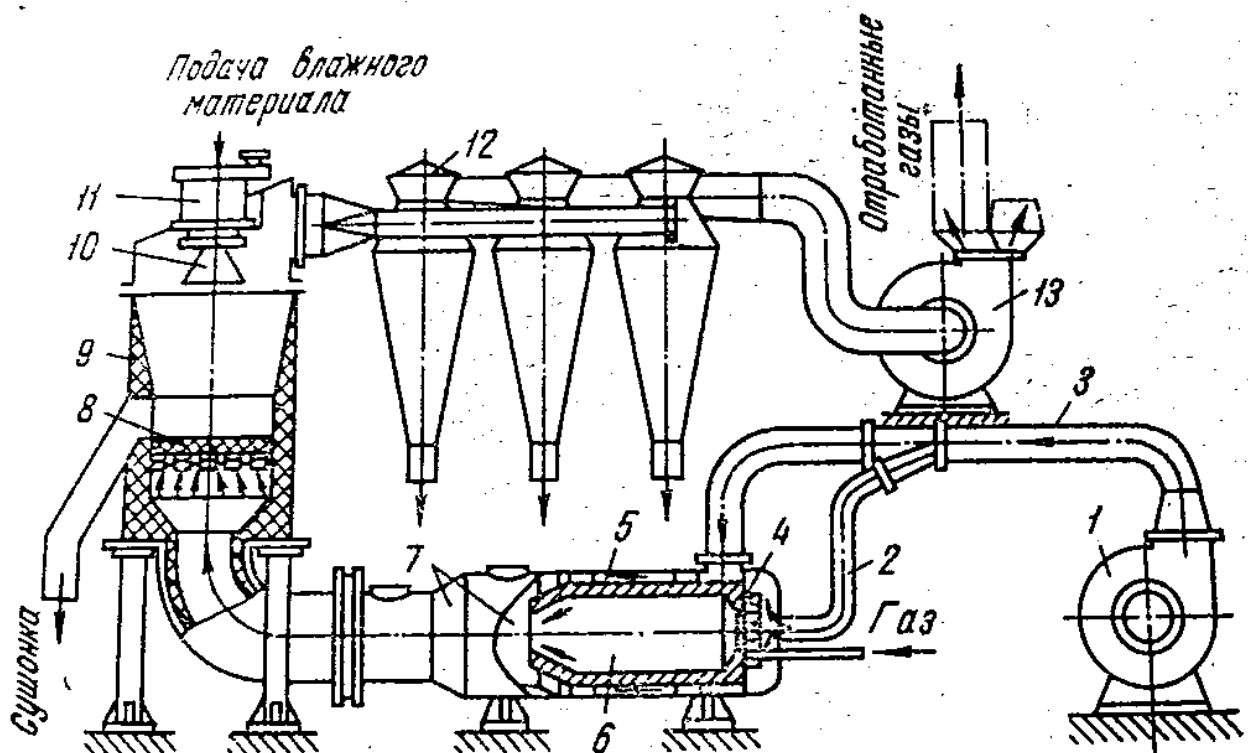


Рис. 2.5. Схема дослідної установки для сушки вугілля в режимі псевдокипіння на Дніпродзержинському КХЗ

1 – вентилятор; 2 – первинне повітря; 3 – повітровід; 4 – пальник; 5 – топка;
6 – камера згоряння; 7 – камера змішення; 8 – розподільча решітка; 9 – реактор;
10 – розкидач; 11 – редуктор розкидача; 12 – циклон; 13 – димотяг

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Пізніше було запропоновано конструкцію сушильної камери (рис. 2.6), де досягалося вирівнювання часу перебування частинок вугілля в зоні теплообміну та більш упорядковані переміщення висушеного вугілля псевдо киплячому шарі. Цю установку можна віднести до 2 типу сушильних пристроїв, що використовуються спрямована переміщення киплячого шару на ґратах.

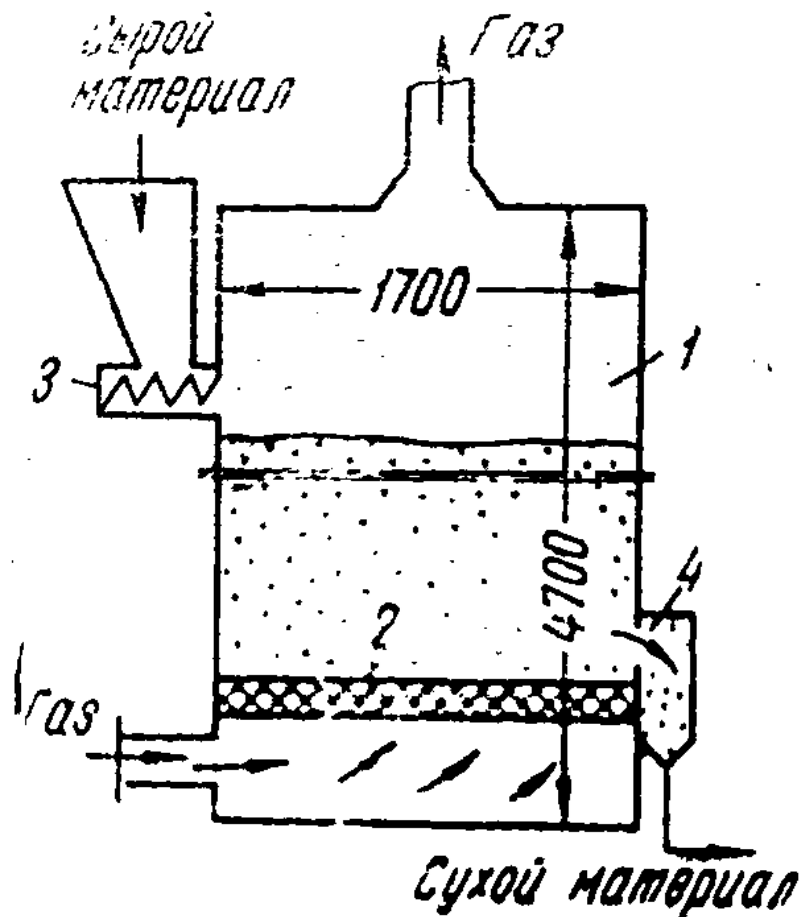


Рис. 2.6. Схема сушарки з направленим рухом матеріалу

1- сушильна камера; 2 – решітка; 3 – живильник; 4 – вікно для виведення підсушеного продукту

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

До цього типу сушильних пристроїв відноситься установка для сушіння флотаційного і дрібного вугільного концентрату, побудована на Макіївському коксохімічному заводі. Схема установки наведена на рисунку 2.7.

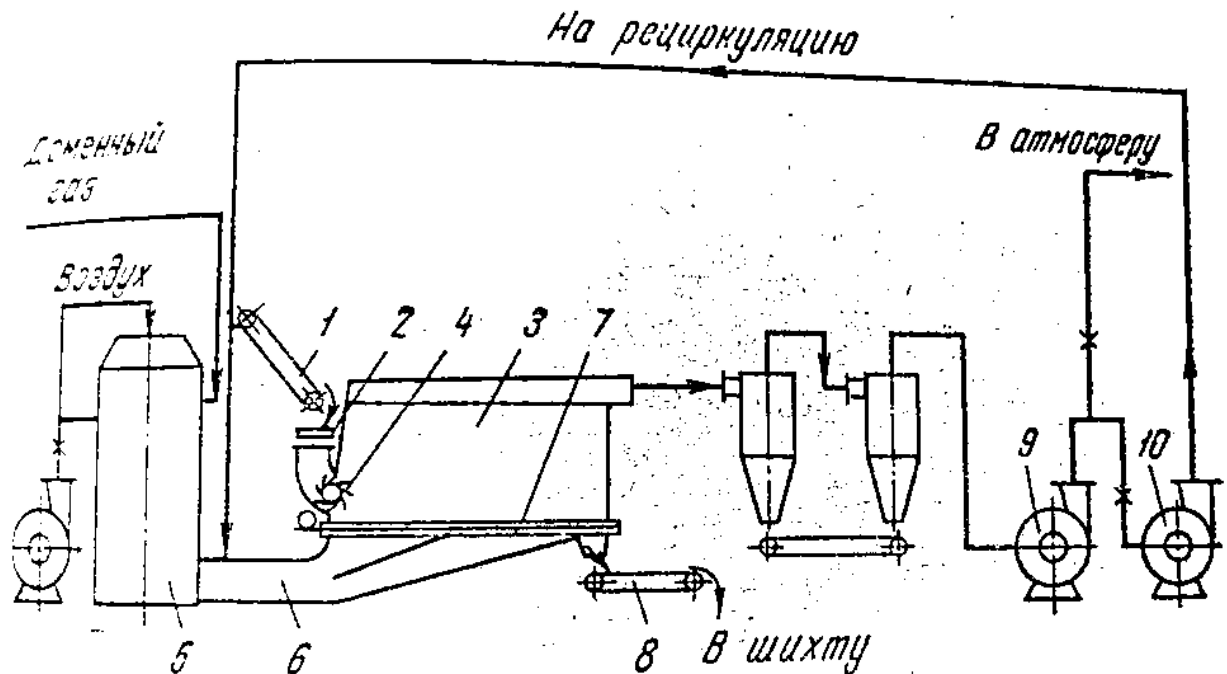


Рис. 2.7 Схема дослідної установки для сушки флотоконцентрату на Макіївському КХЗ

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Вугілля на сушіння подається похилим конвеєром 1 і скребковим транспортером 2 рівномірно розподіляючи вологий концентрат по ширині завантажувального жолоба в сушильну камеру 3 вугілля подається скидачем 4 і потрапляє на решітку 7 площею 9,25 м². Теплоносій за допомогою дроселей газорозподільної коробки 6 рівномірно розподіляється по довжині решітки для забезпечення спрямованого переміщення частинок вугілля. Ґрати нахилені у бік розвантаження 8, під кутом 1,5 °. Газ теплоносій відсмоктується димососом 9 через систему пиловловлювання.

Сушильна камера 3 у поперечному перерізі являє собою трапецію, що розширюється догори. Розширення призначене для зменшення винесення вугілля з камери. Як теплоносій використовують продукти горіння, суміші

доменного та коксового газів, що запалюються в топці 5 для зниження температури теплоносія. Частина відпрацьованих газів повертається на циркуляційний димосос 10.

Ще одна установка для сушіння шихти псевдокиплячим способом, здебільшого спрямованою переміщенням вугільних частинок збудована на Донецькому коксохімічному заводі (рис. 2.8).

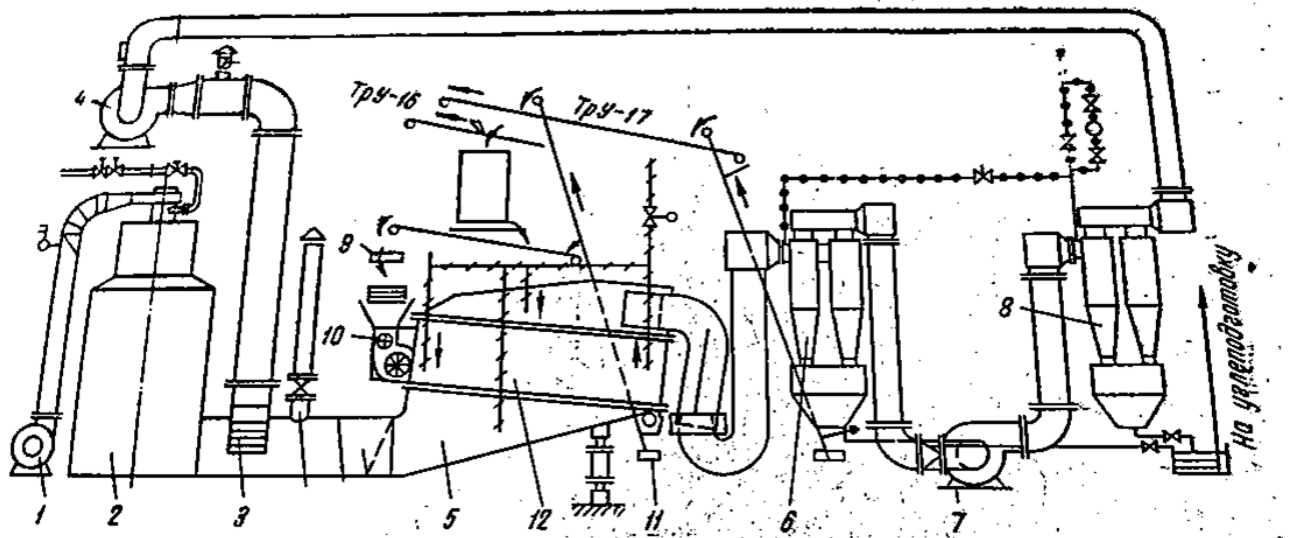


Рис. 2.8. Схема дослідно-промислової установки для сушки шихти в режимі псевдокипіння на Донецькому КХЗ

1 – вентилятор; 2 – піч для спалювання газу; 3 – змішувальна камера; 4 – вентилятор; 5 – сушильний реактор (направлене переміщення псевдокиплячого шару); 6 – батарейний циклон; 7 – димотяг; 8 – батарейний циклон; 9 – конвеєр; 10 – ланцюговий живильник; 11- розвантажувальний пристрій; 12 – решітка сушильної камери

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [15]

Основний апарат установки є сушильною камерою з паралельно русловим потоком псевдо киплячого шару вугілля нахил щілини невидної решітки може змінюватися до 12 градусів. В кінці сушильної камери передбачена подача холодного повітря для охолодження висушеного вугілля газ теплоносієм, готується в печі та може розбавлятися димовими газами, які подаються на рециркуляцію вентилятором зіграєш їх, там подається в сушильну камеру

спеціальним живильником ланцюгового типу. На установці передбачені системи сухого та мокрого пиловловлення. Шихта за допомогою розвантажувального пристрою рівномірно вивантажується з сушильної камери та системою транспортерів, що подаються у вугільну вежу. З бункерів циклонів 6 і 8 вугільний пил вивантажується шнеком. Пил біля розвантажувального отвору шнека обмаслюється для зменшення пилоутворення під час транспортування її у вугільну вежу.

Температура у шарі вугілля на ґратах становить 85 - 100 °С. Порівняльні дані про роботу сушильної установки Макіївського, Донецького та Дніпродзержинського коксохімічних заводів наведені в таблиці 2.1. Тут же наводяться для порівняння дані про роботу звичайної барабанної сушарки Ясенівського коксохімічного заводу.

Таблиця 2.1

Робота сушильних установок

Завод	Продуктивність по вологому вугіллю, т/г	Вологість вугілля, %		Температура газу під решіткою, °С	Витрата тепла на 1 кг вологи, що випаровується, ккал/г	Площа решітки, м ²	Унос вугілля, % від вихідного в перерахунку на сухе
		До сушки	Після сушки				
Мокієвський	145	13,7	8,5	400	806	9,25	0,3-0,7
Донецький	141	12,1	7,0	619	1030	2,5	1,0-2,9
Дніпродзержинський	65	21,9	8,5	435	850	7,0	до 20,0
Ясенівський	45	26,0	12,0	790	916	-	-

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [15]

Як видно з наведених даних у таблиці 2.1, витратні показники роботи як установок з псевдокиплячим шаром, так і барабанної виявилися досить

подібними. Експлуатація протягом кількох років великих установок для сушіння вугілля дала можливість вивчити багато сторін процесу та випробувати цілу низку агрегатів для нагрівання та транспортування шихти, відпрацювати системи пиловловлювання, тощо. Досвід їх експлуатації, безумовно, виявляється дуже корисним під час розробки процесу термічної підготовки вугілля перед коксуванням.

2.3 Оцінка методів термічної підготовки вугілля

Відомо, що будь який з можливих принципів підведення тепла до вугільної частинки, тобто будь-який вид теплообміну між газом-теплоносієм і вугіллям, що нагрівається, відрізняються деяким характерними особливостями і має свої переваги і недоліки.

В даний час увага дослідників, які займаються вивченням питань, пов'язаних з сушінням і термічною підготовкою вугілля, зосереджена на кількох принципово різних способах попереднього нагріву порівняно великих мас вугілля. Розглянемо деякі деталі щодо технології, підготовки вугілля кожним з досліджуваних способів, щоб оцінити, чи можуть вони бути застосовані для попередньої термічної підготовки вугілля перед коксуванням.

Термічна підготовка вугілля в барабані, що обертається. Основним недоліком нагріву в барабані, що обертається, є велика тривалість процесу термічної підготовки вугілля ніж іншими способами нагрівання [15].

При нагріванні дрібно подрібненого вугілля в циліндрі що обігрівається зовні відбуваються три відокремлених види теплопередачі: нагрівання зовнішньої поверхні барабана, що омивають його газами, перехід тепла від внутрішньої зовнішньої поверхні стінки циліндра і, нарешті, передача тепла від внутрішньої стінки циліндра до сипучого тіла, що нагрівається. Нас цікавить лише передача тепла від внутрішньої поверхні барабана до вугілля, що нагрівається. При аналізі відомої форми передачі тепла від стінки стає ясно, що для зменшення часу процесу термічної підготовки вугілля у барабані необхідно

або збільшити поверхню барабана, що пов'язано з неминучим зростанням габаритів всієї установки, або збільшити температуру, підвищуючи температуру стінки. При нагріванні в барабані подрібненого вугілля, тобто сипучого тіла здатного переходити в пластичний стан, збільшити температуру стінки барабана можна лише до певної межі, обумовленої необхідністю уникнути переходу вугілля у пластичний стан і пов'язаного з цим його розм'якшенням та налипанням на стінці. Внаслідок цього можливості інтенсифікації даного способу нагрівання вугілля дуже обмежені. На додаток до наведених у попередніх розділах даних, що характеризується процес нагрівання різного вугілля в барабані, розглянемо зміни гранулометричного складу і наступного вугілля в процесі їх термічної підготовки цим же способом (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Зміна ситового складу шихти 3 в процесі термічної підготовки в барабані

Класи шихти, мм	Вихід					
	Необроблена шихта	Шихта, що оброблена протягом 10 хв. в барабані без нагріву	Шихта, попередньо нагріта до 200 °С протягом хв.		Шихта, попередньо нагріта до 300 °С протягом хв.	
			10	30	10	27
0-0,1	6,4	7,1	7,2	8,4	7,3	9,1
0,1-0,25	28,7	29,8	31,1	32,3	31,0	30,8
0,25-0,5	13,3	15,4	15,3	14,9	15,1	15,4
0,5-1,0	24,6	21,3	21,2	21,0	22,	23,2
1 – 2	10,8	10,4	10,1	9,2	19,4	7,3
2 – 3	9,1	9,0	8,7	8,0	8,6	8,4
3 – 5	4,9	4,8	4,6	4,4	4,6	4,1
> 5	2,2	2,1	1,8	1,8	1,9	1,7

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

Дослідні дані, наведені в таблиці 2.2, показують, що при термічній підготовці вугілля в барабані вугілля, що нагрівається, відчуває значні механічні впливи в результаті, чого воно частково подрібнюється.

При цьому як можна побачити в таблиці 2.2, різні класи по крупності вугілля, що нагрівається, і стираються в різні способи, що пов'язано з відмінністю механічних властивостей окремих петрографічних компонентів.

Найбільша стійкість при обробці в барабані шихти 3 характерна для класів 3 – 5 і більше 5 мм, найменше для класів 0,5 – 1 і 1,0 – 2,0 мм. При цьому перший з них значно руйнується після десяти хвилинного перебування в барабані, що обертається, навіть при вимкненому обігріві.

Оскільки подрібнення ситового складу вугілля в процесі їх термічної підготовки викликає зміну щільності насипної маси, а остання одночасно з руйнуванням окремих класів вугілля можуть вплинути на спікання вугілля при їх коксуванні. Часткове стирання вугілля у барабані у цьому попередньому нагріванні вважатимуться однією з негативних властивостей даного способу термічної підготовки.

Таким чином, недоліками проведення процесу термічної підготовки вугілля, що повертається барабанах є:

- 1) обмежений можливості збільшення швидкості нагрівання або температурного напору;
- 2) подрібнення вугілля при перемішуванні в барабані;
- 3) низька продуктивність установки, незважаючи на значне габарити;
- 4) невисокі термічні та теплотехнічні коефіцієнт корисної дії.

2.3.1 Попередній нагрів вугілля газоподібним теплоносієм в режимі протитоку

Укрупнена лабораторна установка, конструкцій якої описана вище, дозволяла здійснювати швидке нагрівання вугілля, що рухається назустріч потоку димових газів.

Двофазну систему, що складається з рухомої насадки і газу, що рухається, можна розглядати як запилений газовий потік. Ефективність теплообміну запиленних потоків залежить головним чином ступеня турбулентності прикордонного шару, що створюється навколо кожного елемента рухомий насадки. Вугільна частки раціональним вважається такою аеродинамічною, режим запиленого потоку, в якому є максимально ефективність теплообміну, обумовлена високою турбореалізацією прикордонного шару, вимагала б мінімальної витрати енергії на утворення цього шару [17].

Найважливішою перевагою даного способу нагрівання є те, що при русі вугілля, що нагрівається, безпосередньо в потоці димових газів відбувається різке збільшення відношення поверхні теплообміну до обсягу теплообмінного пристрою.

При наведенні застосуванні розглянутого способу термічної підготовки подрібнення вугілля не відбувалося в таблиці 2.3 проводиться, деякі показники процесу газових теплоносієм, що нагрівали ти, в режимі протитечії.

При аналізі наведених даних, перш за все необхідно відзначити значне винесення вугілля, що нагрівається, в систему пиловловлювання. Таке велике винесення, що змінювалися залежно від швидкості руху газу від 12 до 64%, є незмінним важливим недоліком будь-якого способу термічної підготовки сипучого тіла заснованого на використанні зустрічного потоку димових газів.

Використання в даному випадку агента, що нагрівається вугільної шихти з широким ситовим складом призводить до різкого збільшення її винесення. В наявності явна суперечливість даного способу нагрівання. Дійсно, коефіцієнт теплопередачі, як видно з таблиці 2.3, збільшується зі зростанням ступеня

турбулізатора прикордонного шару запиленого потоку, тобто зі зростанням швидкості руху газу, що гріється. Але зі зростанням швидкості газів збільшується межа того класу ситового складу, вугілля, що нагрівається, для якого дана швидкість є критичною, тобто відповідною швидкості витання частинок і таким чином поліпшення процесу теплопередачі неминуче призводить до різкого збільшення величини винесення.

Таблиця 2.3

Данні отримані при термічній підготовці шихти 3 методом протитоку

Температура газу на виході в теплообмінник, °С	Температура шихти після теплообмінника, °С	Унос шихти в циклон, %	Швидкість газу на виході в теплообмінник, м/сек	Розміри класів, що залишилися, мм	Коефіцієнт теплопередачі, α , ккал/(м ² ·г·град)
295	155	14,9	1,48	0,15	679
300	150	21,4	2,28	0,20	696
360	170	23,9	1,95	0,25	762
365	180	34,4	3,62	0,32	1160
460	210	35,0	2,73	0,35	885
480	220	49,7	4,55	0,55	1745
500	240	24,3	1,88	0,25	915
500	240	43,9	2,66	0,45	1410
540	270	41,2	2,81	0,40	1430
540	270	51,5	3,84	0,60	1790
670	320	12,6	0,92	0,10	670
675	325	16,2	1,05	0,15	688

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [17]

З іншого боку, при протичовновому способі нагрівання збільшення швидкості газової фази за величиною близькою до швидкості витання частинок певного класу крупності, призводить до збільшення часу їх руху і, отже,

збільшення часу їх теплообміну за газом, тому при використанні для нагрівання у зустрічному потоці газу рядової вугільної шихти, що є сумішшю декількох класів з послідовною збільшенням крупністю частинок, неминуче відбувається більшою або меншою перегрів деяких класів.

Таким чином, можна зробити висновок, що збільшення коефіцієнта теплопередачі шляхом підвищення швидкості газового потоку для процесу термічної підготовки вугілля методом зустрічного потоку практично важко здійснити. Насправді подібне завдання іноді вирішує підвищенням температури газу теплоносія, що дає деякий ефект. У тих випадках, коли немає можливості змінити ступінь турбулізації газового потоку, але при цьому збільшується небезпека перегріву найменших класів вугілля, що нагрівається їх комкування та налипання на стінці теплообмінного апарату.

Досліджений досвід з термічної підготовки шихти проводили в потоці димових газів, що мали більш високу, ніж температуру. При цьому зниження величини у носа зменшували швидкість газового потоку, але незважаючи на те, що цим шляхом вдалося при порівняно невеликих втратах нагріти вугільну шахту до високої температури, хоча коефіцієнт теплопередачі, пов'язаний зі швидкістю газу, у колишні все ж таки невисока якість коксу значно поступалася, відповідним показником, що отримується при коксуванні цієї ж шихти нагрітої до нижчої температури. Причиною цього є значна зміна в процесі нагрівання ситового складу шихти через перегрівання окремих її класів.

Звернемося до досвідчених даних таблиця 2.4, наведено зміну ситового складу шихти 3 в процесі нагрівання її у зустрічному потоці димових газів залежно від температури газу, що гріється, і швидкості газового потоку. Як видно з таблиці 2.4, навіть за швидкості газового потоку, що дорівнює 1,1 м/с і температури нагріву шихти 200 °С, відбувається значна зміна швидкості складу особливо у дрібних класах шихти. Ця зміна виявляється у винесенні з вугілля, що нагрівається найдрібнішого класу і в деякому зниженні виходу другого і третього класу в крупності. Різну поведінку в потоці димових газів, окремих класів шихти можна пояснити так [17].

Таблиця 2.4

Ситовий склад шихти 3, нагрітий зустрічним потоком димових газів

Температура газу, °С	Швидкість газового потоку, м/с	Температура нагріву вугілля, °С	Ситовий склад винесених і залишених класів крупності вугілля, %									
			0-0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1,0	1-2	2-3	3-5	>5	втрати
Вихідний			6,46	28,7	13,3	11,9	13,3	10,8	8,3	4,9	2,34	-
450	1,1	200	(6,6)	3,0 (8,7)	12,6	11,7	15,5	19,3	13,6	5,8	2,8	0,4
445	1,9	200	(6,5)	(18,0)	10,9	11,6	14,7	20,1	9,8	5,7	2,4	0,3
440	2,5	200	(6,6)	(24,8)	6,1	8,8	14,9	19,7	10,6	5,6	2,5	0,4
440	4,4	200	(6,7)	(28,6)	(9,1)	3,2	13,1	19,0	12,2	5,4	2,4	0,3
670	0,9	320	(6,9)	(2,2) 11,8	15,1	11,3	(3,4) 16,1	16,2	9,4	5,1	2,3	0,2
675	1,05	325	(6,8)	(5,3) 6,7	(3,0) 17,2	12,6	(1,1) 16,8	13,8	8,9	5,2	2,4	0,2
680	0,99	325	(6,0)	(3,1) 2,6	14,6	19,1	(2,0) 17,2	12,4	(2,3) 12,1	5,4	2,5	0,7
690	0,78	330	0,2 (3,2)	(0,9) 3,8	12,2	22,6	17,7	16,3	(2,7) 9,8	6,6	2,8	1,2

* В дужках дані, що відносяться до складу класу вугілля віднесеного в пиловловлюючий апарат

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [17]

При введенні в зону теплообміну такого сипучого тіла, яким є звичайна вугільна шахта, що характеризується наявністю вугільних частинок різних класів, зустрічний потік димових газів підхоплює і захоплює собою ті частинки найдрібніших класів шихти, швидкість витання яких менше швидкості руху газу, що гріється, частинки, швидкість витання яких дорівнює швидкості руху газу, повисають в зоні нагріву, покинути яку вони можуть тільки в тому випадку, якщо більш тривалий, ніж для всієї маси нагрів призведе до значного зменшення їхньої маси, і вони будуть винесені в циклон або при інтенсивному нагріванні падаючого вугільна частинки перейдуть у пластичний стан, після чого, склеївшись із сусідніми частинками і підвищивши тим самим свою щільність, вони залишають зону нагріву потрапляють у приймач з усією масою шихти, що нагрівається.

Помітне збільшення виходу великих класів шихти, що нагрівається, підтверджується якраз реальністю останнього припущення.

Факт укрупнення деяких дрібних класів вугільної шихти внаслідок перегріву у зоні теплообміну стає особливо наочним при розгляді результатів нагрівання шихти до вищих температур. В результаті в цьому випадку помітно збільшується вихід класів 2-3 та 3-5 мм при тому, що залишається майже без зміни, кількості найбільших частинок понад 5 мм.

Таку ж картину можна спостерігати і у разі термічної підготовки іншого вугілля та вугільних шихт у зустрічному потоці газу, що гріється при візуальному вивченні зразків вугілля інших оброблених аналізованим способом і особливо при високих температурах легко візуально виявляється серед вугільних частинок різної крупності характерні округлі частинки з оплавленою поверхнею.

Більшість цих утворень, у процесі термічної підготовки злиплих тіл має надзвичайно низьку механічну міцність, досить легко роздавлюються пальцями, збільшення їх вмісту у вугільній шахті при одночасному зниженні та виходу найдрібніших класів призводить до зміни щільності насипної маси, вугільного завантаження, що зазнають властивостей в процесі коксування [18].

Частковими змінами співвідношення різних класів нагрітого цим способом вугілля можна пояснити розбіжність значень щільностей і насипних мас після термічної підготовки одного і того ж вугілля в барабані і в укрупненій лабораторній установці. Дослідження показали, що проведене термічної підготовки вугілля методом протитечії в середовищі димових газів пов'язане зі значним винесенням дрібних класів, матеріалу що нагрівається в пиловловлюванні систему та комкуванням вугільних частинок, що супроводжується, і порушенням режиму роботи установки. Зміни ситового складу вугілля в процесі нагрівання призводить до зменшення щільності її насипної маси та до часткової втрати спіклливості.

2.3.2 Попередній нагрів вугілля газоподібним теплоносієм в режимі псевдозрідження

Ці дослідження виконувались за допомогою універсальної лабораторної установки, конструкція якої описується вище, дослідження особливості методу псевдозрідженого як одного з можливих способів попереднього нагріву вугілля проводилося в основному у вузькому класом вугільної шихти [19].

Багато дослідників встановили, що псевдозріджений шар, у якому вугільна частка під впливом гідродинамічних сил потоку здійснюють безладна циркулюючи. Циркуляційний рух характеризується двома основними закономірностями, об'єм киплячого шару завжди більший за об'єм нерухомого шару. Іншою важливою характеристикою киплячого шару є критична швидкість потоку, при якій шар вугілля переходить з нерухомого стану псевдозріджена стан.

Розмір цієї швидкості визначається розміром частинок, їх щільністю та фізичними властивостями газу. Кожному класу вугільної шихти відповідають цілком певна критична швидкість газового потоку. При продуванні газу через шар вугілля, тут мається на увазі вузький клас, відібраний з вугілля, що знаходиться на сітці, спочатку спостерігається звичайний процес фільтрації газу через нерухомі шар. На момент, коли тиск газу, що подається, досягає величини

опору шару вугілля, ΔP починається помітне розширення цього шару. Цей момент добре помітний при роботі з будь-яким із класів вугільних шихт через починання зростання висоти шару, що починається.

На рисунку 2.9 показано залежність висоти і опору шару вугілля, що знаходиться в теплообмінному пристрої від швидкості проходження, що проходить крізь нього газу.

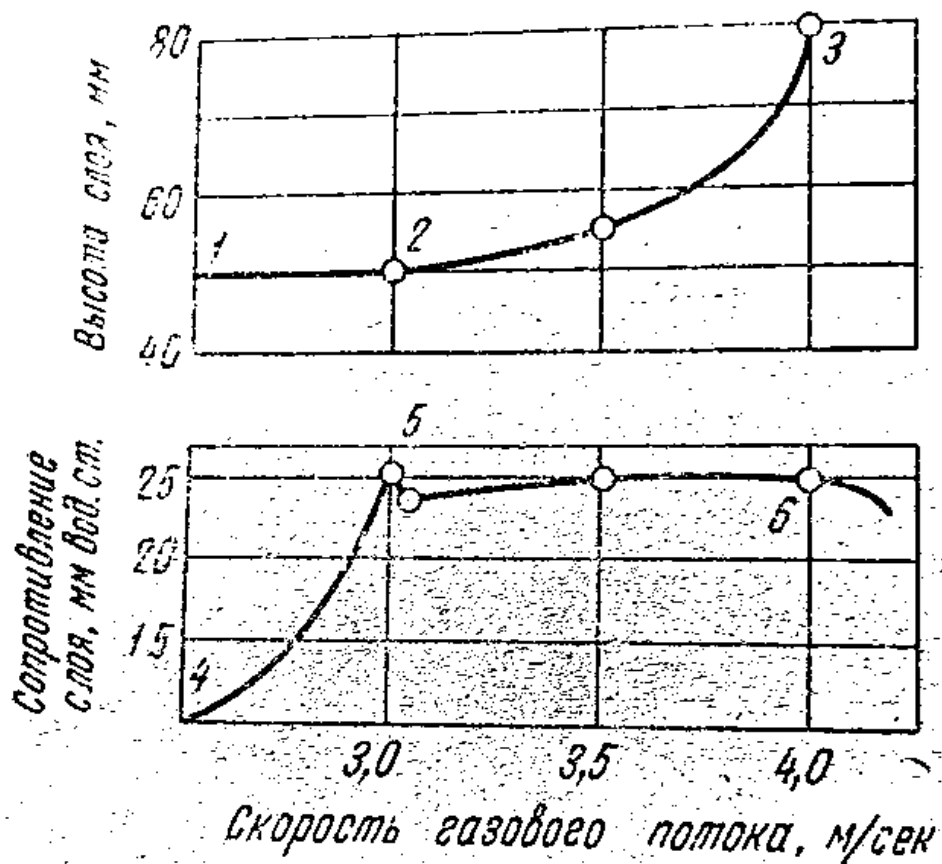


Рис. 2.9 Залежність опору і висоти шару вугілля, що нагрівається в режимі псевдозрідження від швидкості газового потоку (клас 0,8-1,0 мм, шихта 3)

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [19]

Як видно з графіка на ділянці 1-2, висота шару вугілля 0,8 - 1 мм (точка 2) тільки збільшується швидкість подачі критичної величини, шар вугілля з нерухомого стану перетворюється на стан кипіння. Подальше збільшення швидкості потоку призводить до збільшення висоти шару, тобто його розбухання. В інтервалі 2-3 відбувається процес стійкого кипіння завантаженого вугілля при

підвищенні швидкості дуття вище точки 3. Рівномірність киплячого шару порушується крізь шар починає прориватися великі бульбашки газу і з поверхневого шару вугілля відбувається інтенсивне викидання часток різко збільшується винесення вугілля з теплообміну. Такі ж характерні ділянки можна виявити на графіку залежність опору шару від швидкості газового потоку, за отриманими даними, можна дійти висновку, що в період режиму кипіння, що встановився, області киплячого шару на графіці відповідає майже горизонтальна ділянка, крива ділянка 5-6. З цієї обставини можна зробити висновок, що сумарний опір киплячого шару в режимі, що встановився, майже не залежить від швидкості газового потоку.

При подальшому збільшенні швидкості потоку рівномірність кипіння порушується і опір шару опадає. В результаті його розширення і масового винесення вугільних частинок із зони нагрівання ділянку кривої за точкою 6.

У таблиці 2.5 наведені дослідні дані, отримані при термічній підготовці класу вугільної шихти 3 крупністю 0,8 - 1 мм методу псевдокипіння. З наведених даних видно, що температура киплячого шару підвищується не відразу, з точки зору теплообміну нагрівання вугілля, методів псевдокипіння є не менш ефективним процесом, ніж приклад нагрівання методом протитечії.

Недоліком розглянутого способу нагріву є вирівнювання температур і концентрації, що виходить в киплячому шарі, в результаті чого знижуються температурні та концентраційні градієнти. Іншими словами, це вирівнювання приходить, призводить до зниження швидкості тепла та масообміну в киплячому шарі. Крім того, як видно з наведених у таблиці 2.5 даних при безладному русі частинок в киплячому шарі часті стикання вугільних частинок один з одним і об стінки апарату, приводять до часткового їх подрібнення, про це свідчить збільшується винесення дрібних класів. Відсутній у завантажуваної в апарат шихті, особливо при тривалому нагріванні при значно відмінність форми вугільних частинок від кульової збільшується, набухання шару перед початком кипіння, так як спочатку відбувається орієнтування частинок у напрямку потоку.

Таблиця 2.5

Вплив деяких факторів на кінцеву температуру киплячого шару і унос вугілля

Середня температура газу, °С	Товщина шару вугілля, мм	Тривалість нагріву, сек.	Кінцева температура в киплячому шарі, °С	Унос вугілля в циклон, %	Крупність віднесених вугільних частинок, мм
150	50	30	78	0,10	0-0,05
142		60	94	0,15	
146		120	110	0,20	
149		300	115	0,40	
220	65	30	86	0,20	0-0,5
222		50	110	0,50	
216		100	133	0,65	0-0,08
221		200	158	0,70	
222		300	165	0,90	0-0,1
300	60	60	118	0,20	0-0,06
300		120	156	0,40	
310		240	192	0,70	0-0,09
308		480	223	0,90	0-0,1
303		540	226	1,30	

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [19]

Крім того, як було з'ясовано нерівномірність форми частинок, що утворюють киплячий шар, сприяють нерівномірності кипіння. Так при одночасному нагріванні кількох класів вугілля, спостерігається розшарування киплячого шару, причому вгорі виявлялися найдрібніші частинки, а великі займали нижню частину шару. Нагрів киплячому шарі зазвичай вугільної шихти

без попереднього її розсіву є досить важким завданням і супроводжується нерівномірністю нагріву вугільної зерен різної величини і деяким їх подрібненню [19].

2.3.3 Термічна підготовка вугілля у вихровій камері

Принцип вихрового руху дозволяє виробляти швидке нагрівання за 1-3 секунди вугілля, що безперервно надходить, звичайного ступеня подрібнення 3 - 0 мм. Нагрів вугілля ведеться безпосередньо продуктами горіння, що подаються в апарат під тиском, завдяки чому час перебування вугільної частки в зоні нагріву дуже обмежений, продуктивність агрегатів, що діють і споруджуються, досягають 20 тонн на годину.

Опубліковані дані дозволяють досить точно розрахувати основні параметри вихрової камери і вибрати оптимальні умови режиму попереднього нагріву будь-якого вугілля. Спостереження за роботою вихровою камерою показали, що переважна маса частинок рухається в камері в пристінному шарі яскраво вираженої гвинтової траєкторії, встигаючи по довжині камери 1,2 метра зробити 7-8 оборотів. При утворенні вихрового потоку в камері спостерігається поява зони розрядження, в основному в осьовому просторі, причому величина розрядження зменшується ближче до виходу з камери для діапазону швидкостей газу теплоносія, що застосовувався, перепад, розрядження між початком і кінцем кар'єри, коливається від 4,5 до 5 мм вод. ст. Зміна концентрації твердої фази в потоці газу не впливає величину розрядження [20-25].

Деякі показники, що характеризують аеродинамічний і теплообмінний процес стрімкої підготовки у вихровому режимі двох широких класів вугільної шахти 4 наведені в таблиці 2.6.

Результати дослідів розташовані в таблиці 2.6 у міру збільшення температури нагріву шихти вагова концентрація вугілля, що нагрівається, в газовому потоці підтримувалася приблизно на однаковому рівні.

Таблиця 2.6

Газодинамічні і теплотехнічні показники процесу термічної підготовки шихти 4 у вихровому режимі

Крупність шихти, мм	Температури, °С			α, Коефіцієнт теплопередачі, ккал/(м ² ·г·град)	Середня швидкість газу в апараті, м/сек	Середня швидкість частинок, м/сек	Унос шихти, %	З Час контакту частинок з теплоносієм, с	В Вагова концентрація шихти в потоці, кг/кг
	газу		шихти						
	початкова	кінцева							
0-1	196	128	123	377	6,1	2,8	3,1	0,84	0,22
	216	159	139	326	7,0	3,3	2,6	0,72	0,13
	268	152	144	240	4,8	2,1	3,8	1,12	0,22
	289	166	158	300	6,0	2,6	2,8	0,91	0,20
	300	168	163	339	6,0	2,6	2,6	0,91	0,26
1-3	217	129	106	511	5,6	2,5	2,2	0,96	0,32
	198	130	109	714	6,6	3,0	1,8	0,79	0,26
	223	152	122	810	7,3	3,4	1,9	0,70	0,14
	270	156	129	590	6,3	2,8	2,6	0,85	0,30
	258	155	131	646	6,3	2,9	2,9	0,84	0,31

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [23]

Можна відзначити очевидну залежність між швидкістю газового потоку у вихровій камері і коефіцієнтом теплопередачі системи газ вугілля, що нагрівається, при вищій швидкості газу вугілля нагрівається до більш високої температури. Незважаючи на те, що початкова температура газу теплоносія залишається приблизно на тому самому рівні з наведених даних таблиця 2.6,

видно, що, незважаючи на досить широкі межі ситового складу, класу вугілля, що нагрівається, величина у носа утримувалася на рівні 2-3 % і залежала, очевидно, тільки від конструктивних особливостей циклону.

Впадають у вічі такі особливості, зі збільшенням швидкості газового потоку відсоток винесення шихти дещо зменшується, що пов'язані з поліпшенням поділу фаз у циклоні внаслідок збільшення відцентрових сил, які у вугільної частки.

Дослідження даного способу нагрівання показали практичну можливість термічної підготовки у вихровій камері будь-якої вугільної шихти без попереднього поділу на вузькі класи. Проводилась в результаті роботи поділу шихти 4 на 2 класу, викликало необхідністю отримання значення деяких критеріальних величин для кожного класу шихти окремо при їх підготовці вихровій камері.

У таблиці 2.7 наводяться основні показники процесу термічної підготовки вугілля їх вихровому режимі, який деяких вугілля і шихта.

Як видно з даних з наведених у таблиці 2.7, втрати вугілля, яке нагрівається в результаті винесення його становили порівняно невелику величину, незважаючи на те, що в цьому випадку термічної обробки піддавалися складу. Ця обставина є значною перевагою вихрового нагріву перед іншими раніше розглянутими способами термообробки вугілля. Другою позитивною стороною аналізованого способу нагріву є майже повна відсутність подрібнення вугілля, що нагрівається. Наведені аналіз ситового складу вугілля і шихти, що зазнав нагрівання до різних температур, показав майже повну сталість виходу різних класів, які не залежать від швидкості газового потоку в камері [23].

Викликаючи зміни і багатьох властивостей вугілля, що нагрівається процес термічної підготовки і, зокрема, спосіб нагріву не можуть не вплинути на якість коксу, одержуване при коксуванні цього вугілля в камері печі. Деякі порівняльні дані, що характеризують якість коксу, одержуваного з шихт, попередньо термічно підготовленої різними способами наведені в таблиці 2.8. У цю таблицю включені

тільки результати дослідів нагріву вугілля в шахтах до однакових температур 150, 200, 250 °С.

Таблиця 2.7

Термічна підготовка вугілля у вихровій камері

Вугілля / шихти	Температура, °С		Коефіцієнт теплопередачі, α , ккал/(м ² ·Г·град)	Середня швидкість газу, м/сек	Унос вугілля, %
	Газ на вході	Вугілля на виході з камери			
Г (№4)	340	155	320	5,0	3,30
	370	175	493	7,2	2,0
	440	200	511	6,3	2,65
Г (№ 1)	360	150	380	6,0	2,70
	450	200	600	7,5	1,92
Шихта 3	270	140	471	8,8	1,98
	310	160	706	9,1	2,0
	335	180	720	8,7	1,68
	370	200	840	8,4	1,95
Шихта 4	290	150	370	6,1	2,51
	350	180	410	6,0	2,80
	420	200	482	6,3	2,70
	490	250	509	6,2	2,70
	470	250	785	8,8	1,85

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [23]

У таблиці 2.8 дано значення тривалості нагріву 1 кг вугілля ця величина, як, про це вже говорилося, є дещо умовною і розраховується для порівняльної оцінки різних методів, виходячи із загального часу нагріву всієї навішування вугілля. В таблиці 2.8 наводяться дані технічного аналізу сировини, що зазнав попереднього нагрівання.

Таблиця 2.8

Зміна властивостей вугілля і отриманого з нього коксу в залежності від способу попереднього нагріву

Апарати нагріву	Сировина	Кінцева температура термічної підготовки, °C	Технічний аналіз, %		Пластометричні показники, мм		Співкількість по Рогу	Якість коксу								
			W _t ^r	V ^{daf}	x	y		Вихід класів коксу				Середня величина кусків, мм		П, кг·об/дм ³	Г	
								Після 150 обертів барабану		Після 300 обертів барабану						
								>40	10-0	>40	10-0	d ₀	d ₁₅₀			
Обертвий барабан	Г (№4)	Без обробки	4,1	37,4	31	16	65,3	51,0	6,3	38,1	9,6	48,1	26,7	15,0	276	
		150	0,9	37,1	29	15	67,7	48,2	5,7	39,4	8,9	48,0	26,9	15,1	280	
		200	0,2	36,6	28	15	69,9	52,6	5,8	40,3	9,5	50,2	28,1	16,2	296	
		250	-	35,3	26	14	63,7	53,6	6,2	40,0	9,5	48,7	25,9	15,4	274	
Протиточна труба		150	1,3	37,2	32	16	65,8	50,2	6,1	38,2	8,6	50,4	27,8	15,9	286	
		200	0,8	36,7	31	15	57,3	52,6	6,2	39,4	8,1	48,8	29,0	19,1	298	
		250	0,3	36,2	30	15	54,4	57,1	5,8	42,1	8,3	48,3	28,7	18,3	302	
Вихрова камера		150	1,2	37,3	31	16	67,8	56,2	6,0	38,3	8,1	49,1	28,1	16,8	292	
		200	0,7	37,1	30	15	67,2	58,8	6,1	40,2	8,0	50,3	29,2	19,8	308	
		250	0,1	36,7	28	15	66,6	53,1	6,6	39,6	8,6	49,8	27,9	17,6	301	
Обертвий барабан		Шихта 4	Без обробки	2,8	25,1	26	15	48,3	64,6	5,4	51,6	7,8	52,4	27,3	15,6	270
			150	0,2	24,9	25	14	48,5	71,3	5,5	61,2	6,3	54,4	31,2	18,1	316
	200		0,07	24,2	24	13	48,7	77,0	3,0	68,5	5,5	56,3	36,1	29,2	357	
	250		-	23,2	24	13	49,4	76,6	6,5	70,1	7,6	53,1	31,6	21,1	328	
Протиточна труба	150		0,7	25,0	27	14	48,7	66,0	4,6	55,6	6,9	53,3	31,2	18,8	313	
	200		0,1	24,7	27	13	50,1	64,0	4,4	56,8	6,3	51,1	31,4	20,4	321	
	250		-	24,1	28	12	49,2	63,4	4,5	57,7	6,3	51,6	32,3	20,3	316	
Вихрова камера	150		0,8	24,9	26	14	49,1	71,9	5,1	64,2	6,4	54,6	31,4	19,6	320	
	200		-	24,8	25	14	51,3	77,1	3,9	67,4	6,1	54,1	33,3	23,8	340	
	250		-	24,6	23	14	51,1	75,2	4,8	67,5	6,8	54,3	31,9	21,1	331	

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [24]

При порівнянні цих значень видно, що найбільш глибоко на речовину вугілля впливає повільне нагрівання в барабані. У цьому випадку відбувається найбільш повне видалення вологи, а також помітно змінюється у вихід летких речовин, характерних для всіх 3 способів нагріву є та обставина, що як для вугілля марки Г, так і для шихти та якості коксу, що отримується, попередньо нагрітого вугілля значно вище, ніж відповідні показники у вихідного вугілля. Термічна підготовка призводить до збільшення виходу великих класів, що виходить коксу, а також дещо знижує вихід дрібниці про поліпшення якості коксу, отриманого з попередньо нагрітого вугілля слідства, свідчать значне зростання показників міцності матеріалу та збільшення коефіцієнта газопроникності. Так, якщо величина газопроникності непідготовленого вугілля була 276 і 266, то при попередньому нагріванні до двохсот градусів цей показник збільшувався відповідно до 296 - 308 і 320 - 357 залежно від способу попереднього нагрівання [25].

При порівнянні якості культів, отриманих з одного вугілля марки, Г підготовленого в різних апаратах стає очевидним, що кращими якість володіє кокс, отриманий з вугілля після термічної підготовки його у вихровій камері або в протичовновій трубі сушарки. Це пояснюється тим, що при нагріванні в потоці димових газів досягається значне, більш висока швидкість і підйому температури вугілля, що нагрівається. Дійсно, якщо розрахувати середній час перебування окремої вугільної частинки в зоні теплообміну кожного з апаратів з урахуванням швидкості газового потоку в цій зоні, отримаємо наступні його значення в апаратах безпосереднього теплообміну, швидкість нагрівання вугільних частинок. Як можна бачити набагато вище відповідного показника для барабанної печі малометаморфізоване вугілля, яким можна віднести і газове при підвищенні швидкості нагрівання покращують спікливість - ця обставина і призводить до помітного поліпшення якості коксу з газового вугілля, підданого швидкісному нагріванню. Порівняння якості коксу, отриманих з шихт 4 після їх нагріву в різних апаратах дозволяє дійти висновку про користь, в цьому випадку повільнішого нагріву, як зазначалося вище, якість коксу з жирного вугілля і шихт

з їх участю покращується після їх термічної підготовки з одночасним легким окисненням.

З раціональної оцінки досліджуваних способів нагрівання вугілля можна зробити такі висновки:

1) з точки зору теплообміну досвідченим способом нагрівається є псевдозріджена режим;

2) ступінь нагрівання шихти в режимі протитечії дещо менше при зростанні швидкості газового потоку до значення швидкості витання певного класу частинок. Цей клас вугілля починає нагріватися в режимі пневмотранспорту, яка характеризує значне нижчим коефіцієнтом теплопередачі через практично нульового значення відносної швидкості в ньому твердої фази;

3) у вихровому режимі максимальний ступінь нагріву твердої фази дещо нижчий, ніж при псевдозрідженому стані та протитечії, але при цьому тривалою якістю даного способу нагріву є відсутність впливу дисперсності твердої фази на процес теплообміну при термічній підготовці;

4) максимальне винесення шихти спостерігається при нагріванні вугілля в режимі псевдозрідженого стану та протитечії мінімальний при нагріванні вугілля вихровій камері;

5) при обробці вугілля методами псевдозрідження і протитечії спостерігалася значна зміна ситового складу вугілля, що нагрівається, зміни різних класів у вугілля і великого і дрібного. Невелике подрібнення вугілля відбувається при обробці його в барабані.

Нагрівання вугілля вихровій камері не супроводжується, скільки помітною зміною його ситового складу. Зважаючи на дані, отримані при дослідженні різних способів нагріву, можна вважати нагрівання у вихровій камері оптимальним способом термічної обробки вугілля та вугільних шихт [25].

ВИСНОВКИ

В процесі виконання дипломної роботи і вивчені технології термічної підготовки вугільної шихти виявлені наступні основні переваги процесу.

1. Покращення якості коксу, що відбувається в результаті підвищення щільності насипної маси термічної підготовленого вугілля та підвищення її рівномірності, поліпшення якості коксу по висоті завантаження, теплового режиму коксування завантаження, тощо.

2. Розширення сировинної бази коксування внаслідок залучення у вугільні шихти більших кількостей малометаморфізованого вугілля.

3. Значне збільшення продуктивності коксових печей внаслідок збільшення щільності насипної маси шихти та помітне скорочення періоду коксування.

4. Зменшення витрати тепла на коксування, значна частка тепла в коксовій печі при існуючому процесі коксування витрачаються на випаровування води, перегрів водяної пари та нагрівання шихти до 100-120 °С. Цю операцію розумніше виконати в окремому апараті, що використовує більш дешеве паливо, і дозволяє здійснити більш досконалий теплообмін між матеріалом, що нагрівається і джерелом тепла. Дослідження показують, що при роздільних операціях термічної підготовки вугілля до коксування сумарна витрата тепла на 5 - 15% нижча за відповідний показник коксування вологої шихти.

5. Збільшення міжремонтного пробігу коксових печей та терміну їхньої служби внаслідок покращення їх експлуатації, зниження термічних ударів, що зазнаються кладкою камер при завантаженні їх вологою шахтою.

6. Зменшення кількості стічних вод.

7. Підвищення техніко-економічних показників виробництва коксу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Díez M. A., Alvarez R., Sirgado M., Marsh H. Preheating Techniques to Manufacture Metallurgical Coke ISIJ International, 1991 Volume 31 Issue 5 Pages 449-457.
2. Zhang, Y., Wei, J., Wang, Y. et al. Effect of preheating on coking coal and metallurgical coke properties: A review. Fuel Processing Technology. 2021. Vol. 221. Article 106942.
3. Alvarez, R., Díez, M. A., Barriocanal, C. Modification of coke properties as a consequence of coal preheating. Fuel Processing Technology. 1993. Vol. 36. P. 307–312.
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.Емченко, В.Е.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.
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. Опубл. 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». // Углекислотный 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 // Углекислотный журнал. – 2008. – № 5-6. – С. 38-40.

19. Fukuda, K., Dugwell, D. D., Herod, A. A., Kandiyoti, R. Effect of Rapid Preheating on the Coking Behavior of Bituminous Coals: Retrogressive Reactions and Extract Yields. Energy & Fuels. 2004. Vol. 18.

20. Matsuura, M., Sasaki, M., Kato, K., Nakashima, Y. Effects of Coal Blend Type and Preheating Temperature in Coal Rapid Preheating Process on Coke Strength. *Tetsu-to-Hagane*. 2004. Vol. 90, No. 9. P. 656–660.
21. Kolani, D., Blond, E., Gasser, A., Rozhkova, T., Landreau, M. Modeling of Coal Drying before Pyrolysis. 2013.
22. Zhang, J., Zhu, J., Liu, J. Preheating Analysis of Semi-Coke in a Circulating Fluidized Bed and Its Kinetic Characteristics. *Energies*. 2023. Vol. 16(10). Article 4124.
24. Ugwumadu, C., Olson, R., Smith, N. et al. Computer Simulation of Carbonization and Graphitization of Coal. 2023.
25. Salmon, E., Behar, F., Lorant, F. et al. Early maturation processes in coal. Part 1: Pyrolysis mass balances and structural evolution of coalified wood from the Morwell Brown Coal seam. 2009.

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

ДОВІДКА
про підготовку здобувача

Лукаш Наталя Юріївна
(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 існуючих технологічних схем для
термічної підготовки вугілля та вибір
оптимальної

Керівник кваліфікаційної роботи: к.т.н., доцент Десна Н.А.
(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консул ьтанта	Примітк а
1	Аналітична частина	Десна Н.А.	зараховано	12.05.26		
2	Основна частина	Десна Н.А.	зараховано	26.05.26		

Зав. кафедри _____

(підпис)

К.О. Шмельцер

(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра

Здобувача Лукаш Наталі Юріївни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-23ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Вивчення існуючих технологічних схем для термічної підготовки вугілля та
вибір оптимальної

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>65;</u>
таблиць	<u>14;</u>
схем і рисунків	<u>12;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

Дана кваліфікаційна робота присвячена дослідженню сучасних технологій термічної підготовки вугільної шихти до коксування та оцінці їх впливу на якість металургійного коксу і техніко-економічні показники коксохімічного виробництва. У роботі розглянуто причини погіршення якості коксу, проаналізовано основні напрямки вдосконалення підготовки вугілля до коксування та визначено переваги застосування термічної підготовки шихти. Робота виконана на актуальну тему, що має важливе значення для сучасної коксохімічної та металургійної промисловості. Автором проведено аналіз науково-технічної літератури, узагальнено сучасні підходи до підготовки вугільних шихт та обґрунтовано доцільність використання термічної підготовки для підвищення якості коксу, розширення сировинної бази коксування та зниження енергетичних витрат. Робота відзначається логічною структурою, достатнім рівнем опрацювання матеріалу та практичною спрямованістю. Отримані результати можуть бути використані на коксохімічних підприємствах для підвищення ефективності виробництва коксу.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра

(бакалавра, магістра)

В роботі не проведений огляд особливостей впровадження технології на окремих коксохімічних заводах з урахуванням їх технічного стану. Потреба у додаткових дослідженнях щодо оптимальних режимів термічної підготовки для різних складів вугільних шихт.

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, уміння користуватися літературними матеріалами

Здобувачка Лукаш Н.Ю. під час написання кваліфікаційної бакалаврської роботи показала добру загальну та спеціальну підготовку, вміння працювати з літературними та нормативними джерелами. Над розділами роботи працювала самостійно, висновки та розроблені рекомендації є актуальними, ефективними та економічно обґрунтованими.

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Розроблені рішення та рекомендації по впровадженні термічної підготовки вугільних шихт можуть бути впровадженні на 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)

« ____ » _____ 20__ р.

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

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

Я, *Лукаш Наталя Юріївна*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Покращення умов експлуатації коксових печей та отримання високоякісного коксу при модифікації властивостей вугільних шихт твердими добавками») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

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

12.06.2026

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 існуючих технологічних схем для термічної підготовки вугілля та ви-
бір оптимальної*

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

ЛУКАШ Наталя Юріївна

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії,

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 65 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 1,44 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- ☐ власними публікаціями;
☒ термінологією;
☒ посиланнями на літературу, праці вчених;
☐ посиланнями на законодавство;
☒ загальноновживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК

(подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «12» червня 2026 р. протокол №16.

Керівник підрозділу _____

(підпис)

К. Шмельцер

Дата «12» червня 2026 р.

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра
(бакалавра, магістра)
Здобувача Лукаш Наталя Юріївна
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи ЗХТ-23ск
Тема кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Вивчення існуючих технологічних схем для термічної підготовки вугілля та вибір оптимальної
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Термічна підготовка вугільної шихти до коксування
Переваги кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Актуальність обраної теми обумовлена погіршенням якості коксівного вугілля, зростанням частки слабкоспікливого та газового вугілля у вугільних шихтах, а також необхідністю забезпечення металургійних підприємств стабільним за якістю коксом. У представленій бакалаврській роботі розглянуто актуальне питання сучасної коксохімічної промисловості – застосування термічної підготовки вугільної шихти як ефективного способу підвищення якості коксу, розширення сировинної бази коксування та покращення техніко-економічних показників виробництва. У роботі проаналізовано сучасний стан сировинної бази коксування, розглянуто фактори, що впливають на якість коксу, та досліджено особливості технології термічної підготовки вугільної шихти. Автором показано, що попереднє нагрівання та підсушування вугілля сприяє збільшенню насипної густини шихти, покращенню умов спікання вугільних зерен і, як наслідок, підвищенню механічної міцності та стабільності якості коксу.
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Як зауваження слід відзначити, що робота могла б бути доповнена більш детальним техніко-економічним аналізом впровадження термічної підготовки в умовах конкретного коксохімічного підприємства, а також порівнянням різних схем попереднього нагрівання вугільної шихти.
Рекомендації: У цілому бакалаврська кваліфікаційна робота виконана на належному теоретичному та практичному рівні, відповідає вимогам, що висуваються до робіт освітнього ступеня «бакалавр», а її автор заслуговує на присвоєння відповідної кваліфікації. Робота може бути рекомендована до захисту.
Рецензент

(прізвище, ім'я та по-батькові)

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)