

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Федунець Юлії Ігорівни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Вивчення впливу сировинних та технологічних
факторів на формування тиску розпору

(повна назва теми)

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

(повна назва бази дослідження)

Науковий керівник к.т.н., доцент

(наук. ступінь, вчене звання)



(підпис)

Шмельцер К.О

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 13.06.2025 р. № 16

Завідувач кафедри


(підпис)

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

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

Завідувач кафедри ЗАТВЕРДЖУЮ
 Хімічних технологій та інженерії
(підпис)
 « 2 » червня 20 25 року
 доцент, к.т.н.
 Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання, прізвище, ініціали)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА Федунець Юлії Ігорівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вивчення впливу сировинних та технологічних факторів на формування тиску розпору
 керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Шмельцер Катерина Олегівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу № 238-ст від «4» квітня 2025 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2024

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: Механізм та хімізм термічних процесів переробки вугілля. Вплив чинників на термічний процес переробки вугільної сировини. Основи технології коксування вугільних шихт. Термохімічні процеси та макроструктура вугільного завантаження в процесі коксування. Тиск розпору вугільних шихт. Характеристика основних продуктів коксування.

4.2 Основна частина: формування тиску розширення у вугільному завантаженні. Способи визначення тиску розширення вугільного завантаження. Вивчення технологічних та сировинних факторів на величину тиску розширення. Оптимізація компонентного складу вугільних шихт з урахуванням тиску розпору.

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	Шмельцер К.О., доцент		
2 Основна частина	Шмельцер К.О., доцент		

7. Дата видачі завдання «21» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1)	Аналітична частина	12.05.25	
2)	Основна частина	26.05.25	
3)	Оформлення пояснювальної записки	30.05.25	
4)	Подання роботи до кафедри	02.06.2025	
5)	Захист роботи в ЕК	18.06.2025	

Здобувач

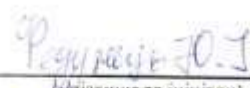


(підпис)

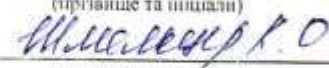
Керівник кваліфікаційної роботи



(підпис)



(прізвище та ініціали)



(прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Федунець Ю.І. Вивчення впливу сировинних та технологічних факторів на формування тиску розпору.

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

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню формування тиску розпору у вугільному завантаженні. Описано та зображено процес формування тиску розпору під час коксування.

У роботі показано, що на формування тиску розпору впливають петрографічні характеристики вугілля, щільність пластичної маси при коксуванні, швидкість процесу коксування та насипна густина вугільної шихти. Також вагомий вплив має ширина камери коксування, від параметрів якої залежить швидкість проходження процесу коксування та усадка, через яку тиск знижується.

На підставі дослідження пластично-в'язких властивостей вугільних концентратів за методом Гізелера підтверджено зв'язок особливостей пластичного стану вугілля різного ступеню метаморфізму з тиском розпирання, яке воно розвиває при коксуванні.

В роботі встановлено взаємозв'язок тиску розпирання від генетичних та технологічних властивостей вугільної сировини (виходу летких речовин та показника відбиття вітриніту).

Розроблено регресійні рівняння для прогнозування тиску розпирання з урахуванням показника відбиття вітриніту, вмісту вітриніту, фюзенізованих компонентів, температури максимальної плинності та виходу летких речовин шихти, які характеризується високими коефіцієнтами кореляції r (0,89-0,9), що свідчить про їх статистичну значимість та можливість використання для прогнозування зазначеного показника.

Ключові слова: тиск розпору, вугільна шихта, коксування, пластичний стан, спікання вугілля.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Основи технології коксування вугільних шихт	9
1.2 Характеристика основних продуктів коксування	12
1.3 Механізм та хімізм термічних процесів переробки вугілля	13
1.4 Механізм спікливості та вплив чинників	17
1.4.1 Вплив вологості	19
1.4.2 Вплив швидкості нагріву	19
1.4.3 Вплив крупності вугільних зерен	20
1.5 Рух парогазових продуктів та структура вугільного завантаження у процесі коксування	21
1.5.1 Утворення у вугільному завантаженні пластичного шару	23
1.6 Формування коксу	25
1.7 Тиск розпору вугільних шихт	27
1.8 Висновки до аналітичної частини	29
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	30
2.1 Формування тиску розпору у вугільному завантаженні	30
2.2 Способи визначення тиску розпору вугільного завантаження	34
2.2.1 Установка для визначення тиску розпору вугільних шихт у електропечі з нерухомою стінкою	34
2.2.2 Прискорений метод визначення тиску розпору вугілля і шихт для коксування	36
2.2.3 Уніфікована лабораторна піч для прямого визначення тиску розпору	39
2.3 Вивчення впливу факторів на величину тиску розпору та прогнозування показника	40
2.4 Висновки до основної частини	49
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52

ВСТУП

Коксохімічні виробництва у найближчий час не будуть змінювати технологію виробництва коксу, пріоритет буде надаватись покращенню діючої технології коксування, задля її якісного та кількісного покращення. Коксова батарея на даний час є основним агрегатом для виробництва коксу, тому збереження наявного пічного фонду та продовження терміну експлуатації печі є основним завданням коксохіміків.

Однією з причин прискореного руйнування вогнетривкої кладки у камері коксування є підвищений тиск розпору шихти, що завантажують у піч [1].

При коксуванні вугільних шихт все спікливе вугілля має більший або менший тиск розпору на гріючі стінки коксових камер. Тиск розпору виникає коли гаряча пластична маса перешкоджає виходу парогазових продуктів піролізу вугілля. Чим більш щільні бар'єри на «холодній» та «гарячій» стороні пластичного шару, тим більше парогазових продуктів піролізу вугілля накопичуються у ньому і тим вище виникає тиск цих продуктів [2].

Високий тиск розпору перешкоджає своєчасному відходу коксового пирога від стінок камер коксування, що призводить до збільшення амперажу видачі печей. При наявності великих пошкоджень кладки через підвищений тиск стає неможливою видача пирога з печі і відбувається буріння печей. Через буріння печей погіршуються умови праці персоналу та відбувається тривалий простій коксової батареї.

Високий тиск розпору, призводить до прискореного руйнування простінків. Через це доводиться камери зупиняти на ремонт. Для відновлення пошкоджених простінків необхідна перекладка цілих камер, а при більших пошкодженнях стає необхідною перекладка усієї батареї

Ремонти вогнетривкої кладки є технічно важкими та ведуть за собою великі фінансові втрати та зниження продуктивності коксохімічного виробництва [3].

Саме через наявність таких суттєвих факторів впливу на коксування вивчення механізму формування тиску розпору є необхідним та дозволить:

- 1) уникнути фінансових втрат на коксохімічному виробництві;
- 2) підвищити термін експлуатації вогнетривкої кладки;
- 3) подовжити термін експлуатації коксових печей;
- 4) уникнути буріння печей.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Основи технології коксування вугільних шихт

Процес коксування полягає у переробці кам'яного вугілля при відсутності кисню в інтервалі 950 - 1050°С.

Коксування шихти здійснюють у коксових печах. Сучасні коксові батареї – це складні технологічні агрегати, що працюють у умовах високих температур та розраховані на постійну роботу впродовж тривалого часу (20 років та більше) при умовах дотримання правил та норм технічної експлуатації.

Коксова піч складається з:

- 1) Камери, куди завантажують шихту. За способом завантаження більшість коксових печей відноситься до батарей з гравітаційним завантаженням через люки у своді камер насипом за допомогою вуглезавантажувальної машини. Водночас з цим застосовується завантаження трамбованої вугільної шихти збоку через двері. Така технологія застосовується при виробництві коксу з погано спіклого вугілля.
- 2) Системи подачі газових продуктів. За способом подачі та регулювання опалювального газу, повітря та продуктів горіння коксові батареї проєктуються у двох варіантах: з боковим та нижнім підводом.
- 3) Опалювальної системи печей. Загалом за схемою обігріву розрізняють печі з перекидними каналами, парними вертикалами, з груповим обігрівом та збірним горизонтальним каналом.

Камера коксової печі за формою – паралелепіпед з розмірами, що задаються факторами коксування. В залежності від товщини пластичного шару задається ширина камери, для забезпечення обігріву обирають необхідну висоту та довжину. Коксова камера має двері які необхідні для видачі коксового пирогу з камери за допомогою коксовиштовхувальної машини.

Коксова камера повністю герметична, до неї не потрапляє повітря та опалювальні гази. Під камерою коксування розташовані два регенератори.

Коксовий газ подається у кожен простінок батареї для обігріву. Для обслуговування батареї застосовується комплекс механізмів завантаження та вивантаження (вуглезавантажувальний вагон, коксовиштовувальна машина, штанга для розрівнювання шихти, машина для знімання дверей та коксогасильний вагон).

Етапи коксування:

- 1) Завантаження печей шихтою. Основні положення технологічного процесу завантаження шихтою приведені у Правилах технічної експлуатації коксохімічних виробництв та підприємств. Правилами встановлюються вимоги, що обов'язкові до виконання при здійсненні завантаження печей. Завантаження печі здійснюється вуглезавантажувальною машиною, зверху коксової батареї. Основною задачею завантаження є – забезпечення рівномірного шару шихти, без перевантажень та недовантажень, до заданого рівню з утворенням у підсводовому просторі вільного місця для евакуації газоподібних продуктів коксування.
- 2) Сам процес коксування, тривалість якого визначається періодом коксування (термін від завершення завантаження до видачі коксу), під час якого вугілля спікається з утворенням коксу. Період коксування визначається товщиною шару шихти, кладки, швидкістю нагріву та температурними інтервалом. Також період коксування залежить від матеріалу вогнетривів та особливостей вугільної шихти.

Для обігріву застосовують очищений коксовий газ (зворотній) або суміш коксового та доменного газу. Доменний газ застосовується у суміші з коксовим газом для підвищення теплоти та стабілізації згоряння.

Регулювання технологічного режиму роботи печей здійснюється автоматично у пункті управління коксовими печами. Параметри коксування підтримуються на середньому заданому рівні.

- 3) Процес видачі коксу з печей регламентується Правилами технічної експлуатації. Одним з найважливіших умов постійної роботи коксової батареї є забезпечення стабільного похвилинного графіка видачі у

відповідності з встановленим періодом коксування. Видача готового коксу з печей відбувається безперервно у певній послідовності з інтервалами між видачами, що залежать від продуктивності використовуваних коксових машин.

Видача коксу з печей коксової батареї і наступне завантаження шихтою виконується у строго визначеній послідовності, що називається серійністю видачі. Визначення оптимальної серійності має велике значення для забезпечення стабільної роботи батареї та довготривалої служби вогнетривкої кладки печей.

- 4) Гасіння коксу є необхідним елементом технології виробництва коксу. Кокс, що видається з коксової печі з температурою близько 1000 °С, повинен бути охолоджений (погашений) до температури, що дозволяє його транспортування. У процесі гасіння властивості коксу змінюються, що дає можливість впливати на його якість.

У промисловості застосовують дві технології гасіння коксу:

- 1) Мокре гасіння – зрошування розпеченого коксу водою у гасильному вагоні.
- 2) Сухе гасіння – охолодження циркулюючим газом – теплоносієм у камері гасіння з утилізацією отриманого тепла.

Мокре гасіння є традиційним способом охолодження коксу і досить розповсюдженим у світі. Однак технологія мокрого гасіння має ряд недоліків: втрата тепла коксу (40 – 45%) при зрошенні водою, термічний удар при гасінні призводить до збільшення тріщинуватості коксу, великий вміст вологи, велика кількість викидів з гасильної башти.

Технологія сухого гасіння не має більшості вказаних недоліків, Розширення її застосування обмежується досить великими капітальними та експлуатаційними витратами у порівнянні з мокрим гасінням. Існують окремі обмеження у застосуванні мокрого гасіння у зв'язку з проблемою утилізації промислових стічних вод.

Після гасіння кокс сортується за гранулометричним складом: доменний кокс (+25 мм), коксовий горішок (10 – 25 мм) та коксовий дріб'язок (0 – 10 мм) [4].

1.2 Характеристика основних продуктів коксування

У процесі коксування також отримують такі продукти: кокс, коксовий газ та кам'яновугільну смолу.

Кокс - твердий щільний вуглецевий продукт, що утворюється у результаті коксування. Параметри коксу як металургійного палива, визначаються умовами використання у доменній печі. Кокс є не тільки паливом, а і розпушувачем стовпа шихтових матеріалів за рахунок горіння палива. До коксу пред'являються наступні вимоги:

- 1) висока газопроникність насипної маси, котра обумовлюється високою механічною міцністю, що зберігається при його нагріві до високих температур;
- 2) пористість та реакційна здатність, що забезпечує інтенсивне горіння і відновлення газів;
- 3) низький вміст золи, сірки та фосфору [5].

Елементний склад горючої маси коксу знаходиться у наступних межах: вуглець – 96 - 98; водень 0,5 - 1,0; кисень 0,2 – 1,5; азот 0,5 – 2,0. Щільність коксу (дійсна та уявна) складає 0,8 – 1,0 і 1,8 – 2,0 г/см³ відповідно. Питомий електричний опір коксу 3,5 - 5,0 Ом · см.

Нижча теплота згоряння коксу змінюється в залежності від вологості та зольності коксу (для доменного коксу у межах 26 – 30 МДж/кг) [4].

Коксовий газ. Його склад та кількість залежить від температури коксування та властивостей вугільної шихти та змінюється протягом всього періоду коксування. Коксовий газ, що виходить з камер – прямий коксовий газ охолоджується та з нього вилучається кам'яновугільна смола, аміак, нафталін, піридинові основи, ароматичні вуглеводні (бензол) та сірководень. Після

очищення у цеху уловлювання зворотній коксовий використовується для обігріву коксових печей та доменних печей. Зворотній коксовий газ складається в основному з таких компонентів (H_2 , CH_4 , CO , CO_2 , N_2 , O_2), які не конденсуються у звичайних умовах та також залишків сірководню, бензольних вуглеводнів та незначних кількостей азоту. Питома вага коксового газу коливається у межах 0,400 – 0,415, калорійність становить – 4005 – 4040 ккал/м³.

Кам'яновугільна смола. Її вихід складає приблизно 3,5% від продуктів коксування, має щільність у межах – 1,18 г/см³. Кам'яновугільна смола представляє собою суміш переважно бі- та поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Сума цих речовин складає близько 95% від усіх компонентів смоли, решта припадає на феноли (1 – 2%), органічні з'єднання (2 – 3%). Кам'яновугільна смола є унікальним джерелом, приблизно 50% смоли складає некипляча фракція – пек. Кам'яновугільну смолу спалюють у доменних печах чи піддають фракційній перегонці.

1.3 Механізм та хімізм термічних процесів переробки вугілля

Під спіканням вугілля розуміють спікання не вихідних вугільних зерен, а їх остаточного матеріалу, нелетючого залишкового продукту, що утворюється в ході термохімічних перетворень речовин у вугіллі при нагріванні без доступу повітря. Спикливість визначається густиною пластичного контакту вугільних зерен і характером їх взаємодії в ході піролізу.

Піроліз – це процес перетворення органічних сполук під дією високої температури, що викликає первинні реакції їх деструкції і вторинні реакції взаємодії і ущільнення остаточних фрагментів вихідних молекул. Вказані реакції протікають пов'язано і є елементами єдиного процесу – необоротної радикальної поліконденсації. Для протікання даного процесу необхідно безперервно генерувати активні центри шляхом деструкції остаточного матеріалу при термічній взаємодії.

Мірою спікливості вугілля є міцність поверхневого зрощування остаточного матеріалу вугільних частинок.

При вільному і примусовому спіканні вугілля наявні дві групи явищ:

- 1) перехід у пластичний стан, структурування і ствердіння пластичної маси вугілля.
- 2) власне спікання, тобто, фізичне і хімічне зрощування остаточного матеріалу вугільних зерен.

Перехід у пластичний стан може досягатися шляхом розукрупнення жорстких лінійних макромолекул і руйнування просторових структур в результаті розриву місткових зв'язків – ефірних, метиленових та інших, при умові блокування утворених фрагментів – вільних радикалів або шляхом перегрупування. Цей механізм з достатньою достовірністю виявлений при дослідженні полімерів.

Пластична маса вугілля розглядається як багатокомпонентна та багатофазна колоїдна система, фази якої окремо відділені одна від одної поверхнею розділу і розрізняються термодинамічними властивостями. Уявлення про фази в даному випадку має дещо умовний характер через невизначеність їх складу.

Можна встановити наступні основні елементи механізму переходу вугілля в пластичний стан:

- 1) перерозподіл водню і вибіркоче гідрування частини проміжкових продуктів, що утворюють рідку фазу
- 2) формування полідисперсної системи і виникнення безперервного спектру молекулярних мас остаточних продуктів.
- 3) досягнення максимальної плинності в умовах втрат рідкої фази.
- 4) зародження і розвиток надмолекулярних («твердофазних») утворень в пластичній масі вугілля, її структурування і ствердіння в ході ароматизації [6].

Під час термодеструкції вугілля відбуваються дві групи реакцій:

- 1) розкладання під впливом температури, під час його утворюються низькомолекулярні продукти

2) термічний синтез, процес зміни вихідних речовин та продуктів їх розкладу.

Ці реакції є послідовно - паралельними, під час зростання температури їхня інтенсивність непослідовно змінюється. Послідовно - паралельні реакції нагрівання є дуже складними, тому не існує таких рівнянь за допомогою яких можна було б описати даний процес. Під термічною деструкцією розуміють лише загальні основи процесу.

Термодеструкція вугілля відбувається шляхом нагріву від навколишнього середовища до кінцевої температури процесу (для високотемпературного коксування до 1050 °C). Етапи перетворень на різних температурних інтервалах змінюються.

Загальна схема процесу зображена на рис.1.1.



Рис. 1.1 Загальна схема процесу термодеструкції вугілля

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

Під час детального розгляду деструкції вугілля можна виокремити такі пункти. При нагріванні до 120 °C відбувається виділення поглинених газів та фізично зв'язаної вологи. В інтервалі 200 - 250 °C виділяється H₂O, CO₂, CO та CH₄. Під час цієї стадії відбувається поглинання тепла з невеликим виходом летких продуктів (2 - 3%). Газоподібні продукти починають виділятися через відщеплення кінцевих функціональних зв'язків.

Зі зростанням температури (250 – 300 °С) переважаючими стають реакції термосинтезу з виділенням тепла, одночасно з ними проходять реакції відщеплення кисневмісних груп органічної матриці вугілля і виділення невеликої кількості H_2S та органічних сполук сірки.

У проміжку 350 - 550 °С відбувається розкладання великої маси органічної частини вугілля. Макромолекули розпадаються та виділяються нестабільні радикали, які беруть участь у реакціях об'єднання, розкладання та ізомеризації. Проходить основна кількість реакцій перерозподілу водню, які є основою термічного метаморфізму вугілля.

За 350 – 400 °С вугілля переходить у пластичний стан з виділенням рідинних продуктів. Пластичний стан являє собою неоднорідну систему, у склад якої входять рідинні продукти, леткі продукти (що виводяться із системи у подальшому нагріванні) та тверді частинки.

Рідинні продукти, що утворюються при рекомбінації вільних радикалів при температурному розкладанні, мають подібність до початкової сировини та мають термодинамічну нестабільність. Саме тому для них характерне вторинне термічне перетворення, під час якого утворюється рідинний твердофазний високомолекулярний матеріал, у склад якого входять більш термічно стабільні речовини та газові продукти. Через цю властивість у технологічних процесах глибоких вторинних термічних перетворень утворюються рідинні продукти. Одночасно послідовно подібні перетворення тривають до температур 500 - 550°С.

Першою необхідною властивістю вугілля, з якого необхідно отримати кокс - це здатність до утворення пластичної маси. Від властивостей маси залежить якість коксу, а властивості залежать від співвідношення швидкості розкладу і утворення рідинних продуктів під час всіх стадій (кількість рідинної фази та її рухливість визначає характер термічних перетворень).

За температури, що наближається до 500°С більш інтенсивно починаються реакції об'єднання радикалів, через які відбувається конденсація компонентів пластичного шару. Пластична маса твердіє та відбувається зародження і

розвиток нової. В результаті гетерополіконденсації поглиненої рідинної фази і відбувається зародження нової.

В'язкість пластичної маси зменшується, структура стає більш упорядкованою, ароматизовані молекули та їх блоки стають більш орієнтовані у просторі. З блоків зароджується нова фаза. За наявності великої кількості зародків виникають зв'язки, пластична маса швидко стає в'язкою та структурованою, утворюється тверда маса.

Під час утворення смоляних летких продуктів, утворюються продукти поліциклічної структури, відбувається спікання вугілля у межах та перехід із пластичного стану у твердофазний. Утворюється напівкокс.

Можливість вугілля спікатися є необхідною умовою для отримання з нього вугілля. Але лише перехід вугілля у пластичний стан та спікання не забезпечують отримання якісного коксу, тільки з вугілля марки К можна отримати металургійний кокс. Вугілля, що придатне до коксування, утворює спечений корольок з потрібними властивостями металургійного коксу.

З зростанням температури (більше 550 °C) відбуваються реакції ароматизації та поліконденсації з виділенням H_2 та у невеликій кількості CH_4 , CO та N_2 . Вміст вуглецю збільшується, відбувається упорядкування та ущільнення структури, збільшується число кристалічних графітних систем.

За 900 °C починає завершуватись утворення коксу - який має вигляд зерен або цілого шматку.

Більшість реакцій у вугіллі при коксуванні проходять за радикальним механізмом [7].

1.4 Механізм спікливості та вплив чинників

Спікання вугілля є важливою характеристикою та однією з основних стадій утворення коксу. Спикливість вугілля можна оцінювати за виходом рідинної фази із пластичної маси.

При спіканні вугілля протікає комплекс фізико – хімічних реакцій як в окремо взятому вугільному зерні, так і за поверхнею їх дотику. Процес термічної деструкції високомолекулярних речовин окремих вугільних частинок і взаємодія безперервно змінних фаз - носить хімічний характер. Однак наявність фаз різного агрегатного стану, обмежених поверхнею розділу, зумовлює перебіг фізичних та колоїдно - хімічних процесів. Оскільки пластична маса вугілля має властивості колоїдів, то деякі вчені розглядають процес утворення з неї напівкоксу як затвердіння в результаті колоїдного процесу - старіння, продуктом якого є ксирогель - тобто напівкокс. Всі описані вище процеси, що мають місце при деструкції вугільної шихти, свідчать про те, що затвердіння пластичної вугільної маси є результатом протікання реакцій синтезу високомолекулярної твердої речовини з продуктів деструкції, що характеризуються наявністю підвищеного кількості вільних радикалів. З розвитком реакцій синтезу при температурах вище $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ їх кількість різко знижується, про що свідчать дані визначення йодних чисел термічно обробленого вугілля. Оскільки пластична маса є динамічною системою, в якій протікають такі протилежні процеси, як утворення рідких речовин і їх розпад з'єднання з утворенням твердої фази, то настає момент, коли відбувається затвердіння пластичної маси і утворення напівкоксу. Зародження твердої фази відбувається або на поверхні частинок або безпосередньо у рідинній фазі за рахунок з'єднання багатьох молекул при їх тепловому руху.

Механізм спікання складається з трьох стадій:

1. створення вихідного пластичного контактного ущільнення полідисперсного середовища за рахунок перенесення речовин;
2. розвиток газового тиску і піролізу парогазових продуктів;
3. сополіконденсація продуктів деструкції.

Таким чином, спікання являє собою комплекс одночасно та послідовно протікаючих фізичних та хімічних процесів. [5]

На спікання вугілля значно впливають різноманітні фактори, такі як: вологість величина вугільних зерен, швидкість нагріву. Управління ними дає

можливість напрямленого регулювання хімічних реакцій і фізико – хімічних процесів, що обумовлюють спікання вугілля [8].

1.4.1 Вплив вологості

Дослідження показали, що підвищення вологості шихти понад 8% призводить до зменшення товщини пластичного шару і зрештою перешкоджає утворенню міцного коксу. При підвищеній вологості шихти знижується швидкість нагрівання у проміжку 300–500 °С, що призводить до утворення більше тонкого пластичного шару та меншого спучування. Крім того, температурний градієнт в околиці температур повторного затвердіння зростає через підвищеної тріщинуватості утвореного коксу [9].

1.4.2 Вплив швидкості нагріву

Збільшення швидкості нагрівання має суперечливий вплив на формування фізико-хімічних властивостей коксу, що обумовлено одночасним перебігом піролізу в рідкофазному та твердофазному напрямках. Підвищення швидкості нагрівання сприяє накопиченню рідкої фази, зростанню плинності у пластичному стані та спікливості вугілля. Збільшення текучості (молекулярної рухливості) залишкового вугільного матеріалу сприяє взаємній орієнтації вуглецевих шарів, їх зближення та зародження нових блоків, тобто сприяє упорядкуванню вуглецевої структури, що в цілому повинно призводити до зменшення реакційної здатності та електроопору.

Збільшення швидкості нагрівання знижує твердість матеріалу напівкоксу та коксу внаслідок уповільнення поліконденсації, що протікає з часом, та провокує незавершеність процесу ущільнення вуглецевої структури напівкоксу.

Але міцність пористого тіла зростає в результаті:

- 1) збільшення міцності спікання вугільних зерен, так як зменшується їх в'язкість у пластичному стані;

2) зменшення пористості (збільшення товщини стінок пор).

Так як час є основним фактором, що визначає товщину пластичного шару, то зі збільшенням швидкості нагрівання і, отже, зі зменшенням часу пластичного стану товщина пластичного шару зменшується, незважаючи на збільшення плинності, спучування та температурного інтервалу пластичного стану. Через зниження товщини пластичного шару спостерігається погіршення спікання внаслідок скорочення часу пластичного контакту.

Збільшення швидкості нагрівання на стадії спікання збільшує міцність пористого тіла коксу. Це пов'язано із зменшенням в'язкості пластичної маси вугілля та зниженням пористості коксу. На відміну від цього, прискорення нагрівання під час переходу напівкоксу в кокс викликає зниження міцності. [6]

1.4.3 Вплив крупності вугільних зерен

При визначенні показників спікливості було визначено, що в цілому для всього вугілля збільшення крупності вихідних вугільних зерен у дослідженому діапазоні призводить до підвищення спікливості і спікливої здатності. Разом з тим, при збільшенні крупності вугільних зерен з 0,2 мм до 0,5 мм, це підвищення незначне і навіть у ряді випадків знаходиться в межах похибки. Однак, при подальшому збільшенні крупності вугільних зерен (<1.0 мм) відмінність у показниках спікливості і здатності до спікання стає значним.

Якщо порівнювати вугілля різноманітних марок за показником приросту спікливості та спікаючої здатності, то найбільше це спостерігається у газовому вугіллі.

У якості випробування було обрано газове вугілля ЦЗФ «Селідівська», зі збільшенням розміру вугільних зерен з 0,2 мм до 0,5 мм підвищення показників спікливості і спікливої здатності відбулося лише з 4.1 % і 7.9% відповідно. А приріст показників спікливості і спікаючої здатності зі збільшенням розміру вугільних зерен з <0,2 мм до <1.0 мм становив 12.2% і 16.3% відповідно.

Неоднаковий приріст показників спікливості і спікливої здатності для вугілля різних стадій метаморфізму і навіть вугілля однієї марки пояснюється різним ступенем зміни протікання фізико – хімічних процесів у мікро – та макромолекулярних структурах вугілля при збільшенні крупності вугільних зерен [8].

1.5 Рух парогазових продуктів та структура вугільного завантаження в процесі коксування

Пластичний шар, що переміщається в коксовій камері, служить розділенням між потоками газів, що прямують до стінки камери або всередину вугільного завантаження. Виникнення такого розділення обумовлено опором пластичного шару фільтрації газів. Опір його більше опору шару напівкоксу та коксу, а на холодному боці дисперсної вугільної маси.

Потоки газів можуть бути напрямлені всередину вугільного завантаження (на холодну сторону) чи до стінок камери коксування (на гарячу сторону). Схема розподілу зображена на рис.1.2.

Перепад тисків між пристінним шаром і осьовою площиною на різних рівнях завжди вищий за перепад по висоті камери на кожній стороні пластичного шару. Отже, і всередині завантаження, і біля стін коксової камери гази рухаються двома самостійними потоками протягом $\sim 2/3$ періоду коксування.

Опір пластичного шару тим більше, чим менше в'язкість вугілля в пластичному стані і більше товщина пластичного шару. Тому найбільший опір руху газів чинять жирні та інші добре спікливі марки вугілля.

Якість газів, що прямують на гарячу або холодну сторону, залежить від місця їх утворення по відношенню до положення пластичного шару. Виходячи з цього, можна орієнтовно підрахувати відносні розміри газових потоків.

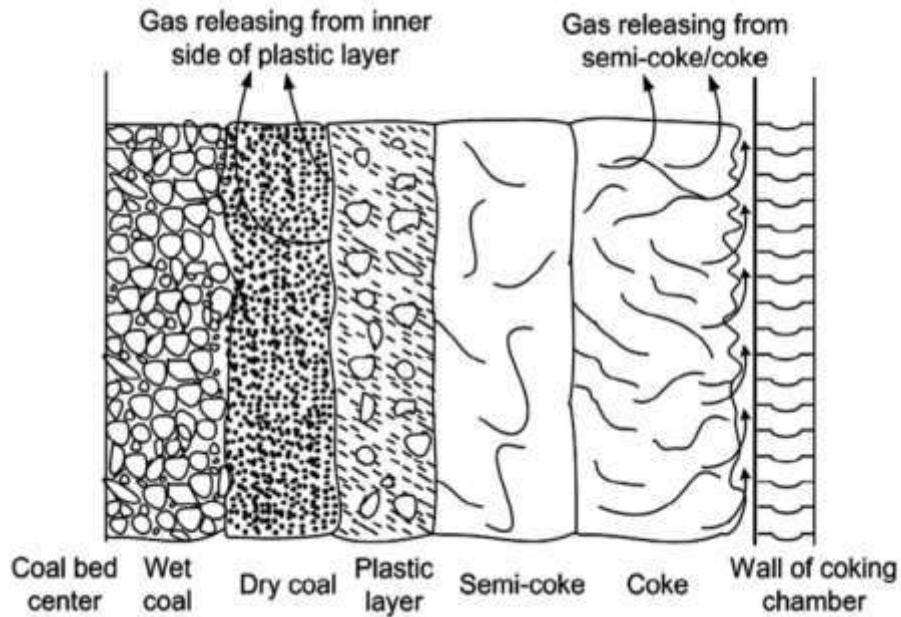


Рис. 1.2 Схема евакуації парогазових продуктів в камері коксування

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [10].

Очевидно, на гарячу сторону підуть парогазові продукти з напівкоксу і коксу, з пластичної маси, що твердне, і частково ті гази, які скупчуються в газонасиченій зоні пластичного шару безпосередньо біля стиків зі затверділою масою і напівкоксом. Їх частку, що виділяється на гарячу сторону, можна прийняти $\geq 0,5$ (залежно від товщини пластичного шару). Проникнення парогазових продуктів з газонасиченої зони пластичного шару на гарячу сторону можливе через пористість тіла напівкоксу та наявності тріщин, що досягають газонасиченої зони.

За аналізом гравіметричних даних розподілу виходу летких продуктів по стадіям коксування було з'ясовано, що на гарячу сторону виділяється 76 - 86% усіх парогазових продуктів, і тільки 14 - 24 %, не враховуючи вологу, направляються всередину вугільного завантаження.

На розподіл газових потоків у завантаженні, що коксується, деякий вплив має рівень подрібнення шихти, розподіл шихти за щільністю у коксовій камері, рівномірність обігріву шихти та встановлений у камері гідравлічний режим.

На розподіл газових потоків в масі, що коксується деякий вплив мають також рівень помелу шихти, розподіл шихти по щільності в коксовій камері, рівномірність обігріву шихти і встановлений в камері гідравлічний режим.

Розподіл парогазових потоків істотно впливає на умови коксування і формування коксу. Зокрема, рух газів на гарячу сторону викликає такі явища:

- 1) збільшення витрати тепла на нагрівання та піроліз парогазових продуктів. одна вагова одиниця парогазових продуктів сприймає тепла вдвічі більше, ніж вагова одиниця коксу, тому при рівних температурних умовах і однаковій спікливості вугільних шихт період коксування зростає з збільшенням виходу з них летких речовин.
- 2) перебіг основних реакцій піролізу переважної частини первинних парогазових продуктів на розпеченій поверхні коксу і стін та їх перетворення на високотемпературні хімічні продукти коксування. Цей процес завершується в підсводовому просторі коксової камери і супроводжується утворенням піровуглецю, який відкладається на поверхні коксу і стін. Кількість піровуглецю на коксі досягає 1%. Цьому сприяє гідравлічний режим, заданий умовами експлуатації коксових печей. Відповідно до встановленого регламенту тиск газів біля стін камер від початку завантаження шихти до видачі коксу підтримується вище, ніж у будь-якій точці пов'язаної з нею опалювальної системи, та вище атмосферного. Для цього перед видачею коксу тиск газів біля стін камер на рівні їх поду тримають не нижче 0,5 і не вище 2 мм вод. ст.

1.5.1 Утворення у вугільному завантаженні пластичного шару

Пластичний шар у вугільному завантаженні утворюється у певних температурних межах, характерних для даної вугільної шихти, і пропорційний часу її перебування у пластичному стані. Але оскільки по ширині вугільного завантаження відбувається зміна температури, пластичний шар переміщається, що зображено на рис. 1.3.



Рис. 1.3 Схема розподілу шарів у завантаженні по ширині камери коксування

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [4].

Тому товщину пластичного шару і його положення по ширині камери в різні моменти часу можна визначити шляхом накладання температурних меж пластичного стану даного вугілля на ізохори температури у завантаженні.

Збільшенню товщини пластичного шару в міру його переміщення сприяють також смолоподібні продукти, які накопичуються у внутрішніх шарах вугільного завантаження в результаті конденсації і переміщення під впливом термокапілярних сил [6].

Явища, які у пластичному шарі, значною мірою визначають структуру коксу. Проникність пластичного шару пов'язана з його реологічними властивостями. Більшість науковців акцентують увагу на подібність між коксом і спіненим полімером. Обидва вищевказані матеріали є пористими і отримані в результаті уловлювання спінюючої речовини у тимчасово рідкій органічній матриці. Під час спінювання стінки бульбашок, що розширюються, піддаються розтягуванню. Опір розтягуючій силі носить в'язкопружний характер. Якщо зусилля, що розтягує, високе та/або опір розтягувальному зусиллю незначне, має місце руйнування стінок, виділення газу і, зрештою, недостатнє спінювання. В

іншому випадку бульбашки накопичуються навколо один одного, формуючи структуру з щільною упаковкою, при цьому структура спінювання зберігається.

У той же час, у випадку спіненого полімеру, інтенсивність виділення речовини, що спінює, і реологічні властивості полімерної матриці можуть бути скориговані в індивідуальному порядку, тоді як у випадку коксівного вугілля, інтенсивність виділення газу і реологія рідини пов'язані. Таким чином, вугілля з високим вмістом летких і високою плинністю, що володіють не тільки високим розтягуючим зусиллям, але і низьким опором зусилля, що розтягує, більш схильні до розриву осередків в порівнянні з вугіллям з низьким вмістом летких і низькою плинністю [11].

У промислових камерах коксування максимум тиску (у результаті спільної дії процесів, що протікають у різноманітних шарах завантаження) досягається у кінці другої години після завантаження у поду камери [12].

Після 9 годин коксування на кожній стороні камери пластичний шар звужується через збільшення швидкості підвищення температури. Але незабаром пластичні шари сходяться, утворюючи один широкий пластичний шар в осьовій площині маси, що коксується.

У межах пластичного шару є перепад температури так само, як і в інших шарах маси, що коксується. Внаслідок цього по товщині шару піроліз протікає різною мірою і шар набуває неоднорідну будову [6].

1.6 Формування коксу

Формування кускового коксу зі спікливої вугільної маси протікає в умовах її наступної термічної обробки. При цьому протікають реакції конденсації, упорядкування вуглецевої структури, що супроводжується зміною маси, ущільненням і скороченням об'ємів тіла (усадкою). Ці процеси викликають внутрішню напругу, утворення тріщин у коксовому масиві, у результаті чого він розпадається на окремі шматки. Сукупність цих явищ і визначає здатність вугілля до коксування, під якою розуміють здатність вугільної шихти в певних

умовах підготовки, при коксуванні давати міцний спечений залишок вуглецю (кокс) необхідного гранулометричного складу і міцності.

Таким чином, з усієї сукупності процесів коксоутворення або перетворення напівкоксу у кокс, можна виділити ряд хімічних і фізичних процесів.

Як згадувалось вище, з хімічних процесів, що протікають на цій стадії коксування, основними є реакції конденсації з утворенням нових вуглецевих блоків ароматичних решіток, а також структурні перетворення вуглецю.

У наступний час вважається, що сутність хімічних процесів перетворення напівкоксу у кокс полягає у зростанні розмірів вуглецевих сіток і упорядкованості їх просторового розташування з одночасним відщепленням перефірійних атомних груп, що містять С, Н, О, N та S.

Вказані хімічні процеси супроводжуються значною зміною фізичних властивостей і у першу чергу міцнісних характеристик пористого тіла вуглецевого залишку. До них відносяться міцність пористого тіла та твердість.

Міцність пористого тіла у більшості випадків визначається міцністю спікання вугільних частинок в об'ємі зерен, котра є функцією ряду факторів. Твердість – це супротив, що здійснює вуглецевий залишок при проникненні у нього стороннього тіла. Твердість коксу залежить від умов термічної обробки. Чим менше швидкість нагрівання і вище кінцева температура коксування тим більш глибоко проходять процеси конденсації вуглецю і упорядкування ароматичних решіток і тим твердіше кокс.

У ряду вугілля за ступенем зрілості найменша твердість властива області середнього ступеню метаморфізму. Міцність пористого тіла коксу збільшується з підвищенням міцності спікання вугілля, котра мінімальна для вугілля з малою кількістю пластичної в'язкої маси. Тому саме вугілля середнього ступеню метаморфізму дає кокс, з найбільшими міцнісними характеристиками. Міцність пористого тіла зростає при підвищенні температури та швидкості нагріву на стадії спікання. Аналогічно збільшується також його дійсна щільність до 1,97 для коксу, що є наслідком структурних перетворень вуглецю.

Хімічні процеси, що протікають на стадії перетворення напівкоксу у кокс, супроводжуються фізико-механічними явищами зміни лінійних розмірів тіла і виникненням у ньому внутрішніх напруг.

Величина усадки, або скорочення тіла напівкоксу при його перетворенні у кокс, залежить, в основному, від виходу летючих речовин із вугілля. Більш точним є визначення втрати маси напівкоксу при його перетворенні у кокс, тобто вихід летючих продуктів, які утворилися тільки на цій стадії коксування.

Вирішальний вплив на формування гранулометричного складу коксу мають процеси утворення тріщин. Вони утворюються у результаті релаксації внутрішніх усадкових напруг, що виникають при неоднорідній степені структурних перетворень різноманітних шарів матеріалу напівкоксу через різні температури нагрівання. У результаті виникають зусилля пружної деформації, котрі при перетворенні ліміту напруги вуглецевого матеріалу призводять до виникнення тріщин [5].

1.7 Тиск розпору вугільних шихт

Тиск розпору – тиск спучування вугільного завантаження. Тиск розпору при коксуванні виникає за рахунок більш інтенсивного виділення газів та зростання опору фільтрації на гарячій стороні вище критичного, порівнянного з опором пластичного шару [6].

Величина тиску розпирання буде залежати від природи вугільної сировини (петрографічні характеристики), властивостей пластичної маси (плинності та газопроникності) та кількості летких продуктів, які утворюються при піролізі, а також від швидкості коксування, ширини коксової камери та способу її завантаження.

Тиск розпору вугілля обумовлений якісними особливостями пластичної вугільної маси та специфікою динаміки газовиділення в період термічної деструкції вугілля. Тиск розпору є одним із зовнішніх проявів властивостей

пластичної вугільної маси і тому може характеризувати властивості вугілля, що спікаються.

При коксуванні в камерних печах майже все спікливе вугілля тією чи іншою мірою має тимчасовий динамічний тиск на стіни камер. Виробничі перешкоди - тугий хід і деформація кладки печей викликаються тиском, що перевищує $\sim 0,13 \text{ кгс/см}^2$.

Для сучасних коксових печей у Гіпрококси навантаження на стіни, що допускається, приймається $0,07 \text{ кгс/см}^3$. Для запобігання тугого ходу коксового пирога середня величина тиску розпирання в осьовій площині камери не повинна перевищувати $0,08 \text{ кгс/см}^2$.

Найбільший тиск розпору розвивається при коксуванні деякого вугілля зниженої спікливості, а також деякі коксові вугілля і вугільні шихти на їх основі, що зображено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Максимальний тиск розпору в залежності від марки

Марка вугілля	Максимальний тиск розпирання, кПа
Г	1,5 – 5,5
Ж	4,0 – 8,0
К	9,0 – 17,0
ПС	4,5 – 21,0

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [12]

З таблиці 1.1 видно, що найбільший тиск розпору викликає коксівне та піснувато – спікливе вугілля, які мають щільний пластичний шар.

Жирне вугілля, що дає найбільший пластичний шар, та має найбільше спучування, не розвиває небезпечного тиску розпору.

Переважний напрямок газів на гарячу сторону при коксуванні показує, що гази не долають пластичний шар, що сформувався, практично будь-якої товщини, що доступна до вимірювання. Тому визначальним чинником тиску газів у пластичному шарі є проникність бар'єру, що утворюється на його гарячій стороні, включаючи шари напівкоксу та коксу.

З різного вугілля та шихт виходить пористе тіло напівкоксу та коксу різної газопроникності [6].

Коксування шихт, тиск розпирання яких значно вищий за оптимальний, призводить до складнощів при видачі готового коксового пирога, тобто до підвищення амперажу електродвигуна прес-штанги коксовиштовхувача, а в екстремальних випадках – до одиничного або масового буріння печей. Буріння призводять до розладу режиму обігріву та графіка видачі як забурених, так і сусідніх з ними печей, а також до падіння виробництва коксу, до деформації кладки обігрівальних простінків і, як наслідок, до прискореного зношування печей.

В умовах нестабільності сировинної бази, залучення нових компонентів до складу вугільних шихт із далекого зарубіжжя зростає актуальність вивчення, накопичення даних за властивостями та величиною тиску розпирання вугільних концентратів, що надходять на коксохімічне виробництво.

1.8 Висновки до аналітичної частини

У аналітичній частині було розглянуто основи технології коксування вугільних шихт, описано основні продукти коксування, аналізовано механізм та хімізм термічних процесів переробки вугілля, детально викладено вплив чинників на процес коксування вугільної шихти та причини утворення тиску розпору.

Тиск розпору вугілля обумовлений якісними особливостями пластичної вугільної маси та специфікою динаміки газовиділення в період термічної деструкції вугілля.

Необхідність подальшого вивчення формування тиску пов'язана з неоднорідністю сировинної бази вугілля та його негативним впливом на стан коксових печей і вірогідність виникнення аварійної ситуації неможливості видачі коксу.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Формування тиску розпору у вугільному завантаженні

Тиск розпору є одним із зовнішніх проявів пластичного стану коксівного вугільного завантаження. Відомо, що різне вугілля при коксуванні розвиває різні значення тиску розпору. Для співставлення вугілля та шихт за цією властивістю приймають максимальне значення тиску розпирання, досягнуте при коксуванні вугільного завантаження, яке і мають на увазі під терміном «тиск розпору». Для розвитку максимального тиску розпирання коксівної вугільної завантаження потрібен певний час, протягом якого в ній відбуваються структурні перетворення - перехід вугілля (шихти) в пластичний стан, утворення коксу і напівкоксу [13].

Спучування пластичного шару спостерігається в тих випадках, коли виділення газу протікає повільніше у порівнянні з утворенням газу, а в результаті уловлювання газу у пластичному шарі зростає тиск розпору. Поширення тиску розпирання на стінках під впливом оточуваного шару напівкоксу/коксу і обумовлює тиск на стінку печі, при цьому бічна усадка пояснює, чому тиск на стінку печі та тиск розпору певною мірою розглядаються як окремі явища. Наявність спеченої шихти необов'язково означає, що вугілля створювало певне навантаження на стінки і, навпаки, бічна усадка не означає, що в той чи інший період коксування стінки не піддавалися впливу тиску. Тим не менш вагомим залишається те, що тиск на стінку печі обумовлює тиск розпору та механічний контакт між шихтою та стінками.

Виділення летких речовин із вугільної шихти є необхідною, але не достатньою умовою для створення тиску коксування у звичайній коксовій печі, оскільки для переважної більшості вугілля з високим вмістом летких, зазвичай характерний низький тиск.

Крім того, необхідно передбачити наявність умов, яка обумовлюють опір потоку газу. Сьогодні не викликає сумнівів той факт, що обмеження виділення

летких речовин двома зонами з низькою проникністю, що формуються навколо пластичного шару, призводить до того, що леткі речовини «утримуються» всередині пластичного вугілля.

При цьому, перш ніж пройти через зони з низькою проникністю, газ, що виділяється, повинен спочатку подолати пластичний шар. Тобто, існує три бар'єри для переміщення газу, що виділився. Механізм утворення тиску розпору представлений на рис.2.1.

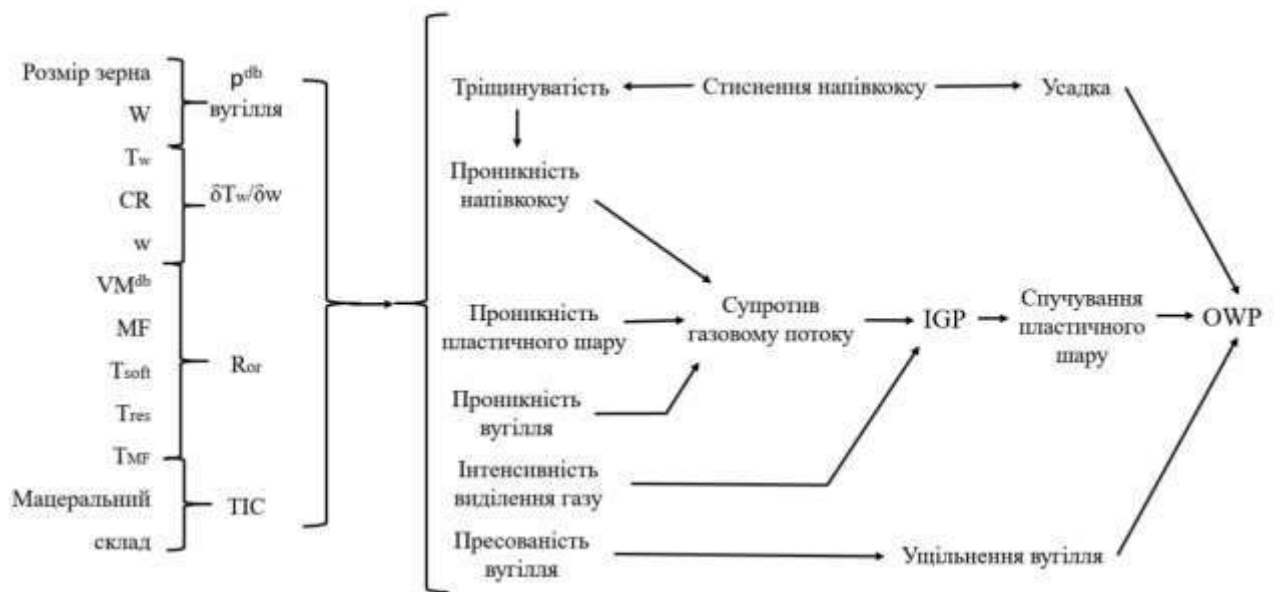


Рис. 2.1. Механізм утворення тиску розпору

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [11].

У вугіллі, що має високу текучість, стоншення стінок пор та відкриття осередків відбувається стрімкими темпами. Проникна взаємозалежна порова система формується на ранній стадії процесу карбонізації, що створює сприятливі умови для виходу летючих речовин із пластичного шару. Виділення летких речовин із вищевказаного шару зменшує тиск розпирання та зумовлює переміщення нелетких речовин, а саме ущільнення шару та подальше ущільнення шихти. Пластичний шар руйнується до досягнення максимальної плинності і відразу ж після формування взаємопов'язаної порової системи, леткі речовини, якою б високою не була їх інтенсивність виділення, проходять через пори та перестають бути джерелом тиску коксування. Від інтенсивності

виділення летких речовин не залежить здатність вугілля утворювати небезпечний тиск розпору.

З іншого боку, вугілля з підвищеним тиском розпору чинить опір руйнуванню осередків на ранніх етапах плинності, і, таким чином, у процесі формування взаємопов'язаної порової системи спостерігаються затримки.

Леткі речовини накопичуються в пластичному шарі та викликають його набухання. Тим не менш, якщо процес уповільненої взаємодії пір починається безпосередньо перед досягненням температури повернення у твердий стан, низька плинність забезпечить стабілізацію структури розширених пір і запобігатиме їй подальшому ущільненню. У цьому випадку тиск коксування залежить від летких речовин, і в результаті, розплавлене вугілля з підвищеним тиском розпирання стає набагато менш проникним в порівнянні з розплавленим вугіллям з низьким тиском розпору.

Наявність уявлення про зміну інтенсивності виділення газу Q , перепаду тиску P і плинності у поперечному перерізі пластичного шару, як у разі «небезпечного», так і «безпечного» вугілля, дозволяє глибше зрозуміти механізм утворення тиску розпору.

Проникність пластичного шару є основною причиною створення високого тиску коксування, яка характерна для вугілля з низьким вмістом летких і низькою плинністю. Але також існує вугілля з низькою плинністю, яке не створює тиск коксування і ряд вугілля з високою текучістю. Це дає підстави вважати, що механізм тиску коксування є складним і може включати кілька механізмів: опір потоку, що забезпечується обома сторонами пластичного шару, також задіяний у механізмі тиску коксування.

Для вугілля з низьким вмістом летких тиск розпору досягає максимального значення в коксі при температурі близько $600 - 625^{\circ}\text{C}$. Таким чином, для вугілля з низьким вмістом летких характерна зона з низькою проникністю, розташована на боці високої температури пластичного шару.

Враховуючи, що напівкокс успадковує свою структуру від пластичного шару, проникність напівкоксу залежить від явищ, що спостерігаються у

пластичному шарі. У вугілля з високою плинністю, пластичний шар твердне з подальшим переходом у проникний шар напівкоксу з відкритою пористістю, який забезпечує розподіл летких речовин. А у вугілля з низькою плинністю, взаємодія пір не відбувалася успішним чином у пластичному шарі, який твердне з подальшим переходом у непроникний шар напівкоксу із закритою пористістю.

Другий механізм включає стиснення напівкоксу. Пластичний шар знову твердне з наступним переходом у високопроникний пористий шар напівкоксу, тільки якщо при стисненні коксу звільняється простір для вільного розширення пластичного шару.

У той же час, стиск в'язкої, але все ще високотемпературної сторони пластичного шару, що піддається деформації, між повторно затверділим стійким шаром напівкоксу і низькотемпературною стороною пластичного шару, що розширюється, запобігає росту і злиттю пір. Такий стиск, про що свідчать сплюснуті пори коксу, паралельні стінкам, зумовлює утворення межі напівкоксу/пластичного шару з низькою проникністю.

Третій механізм - забивання пір напівкоксу. У деяких дослідженнях вказується, що тиск розпору тисне на шар рідини, яка «притиснута» до напівкоксу, що утворився, рідина закупорює пори і, отже, знижує газопроникність. Даний механізм є сумнівним, оскільки напівкокс навряд чи перебуватиме у безпосередньому контакті з рідкою фазою, враховуючи, що перетворення вугілля на кокс відбувається постійно без утворення різких кордонів. Найімовірніше, забиття пір відбувається високомолекулярними компонентами, такими як смоли. Незалежно від причини, забивання пір напівкоксу є одним з механізмів, які часто використовуються для пояснення того, чому леткі речовини повертаються назад від коксу до вугілля. Напівкокс і кокс постійно піддаються стиску до завершення процесу карбонізації.

Незалежно від тиску коксування, все вугілля утворює низькотемпературний шар з низькою проникністю. Він складається з вугільних частинок, що розм'якшують, просочених конденсованими смолами, які піддалися перегонці на стороні високої температури шихти. Спочатку

вважалось, що леткі речовини, що виділяються з вугільної сторони пластичного шару, були «заблоковані» всередині усадкової закритої паралелепіпедної пластичної оболонки. Тим не менш, у промисловій печі, така пластична оболонка ніколи не буває цільною, оскільки дуже незначна кількість тепла передається від дверей печі. Таким чином, можливе застосування пластмасової трубки, а не оболонки. У зв'язку з цим, при виділенні газів з низькотемпературної сторони пластичних шарів вони можуть виходити через кінці пластмасової трубки. В результаті, як тільки газ пройде розм'якшений шар вугілля, єдиним фактором опору потоку газу, що залишився, є об'ємна щільність центральної зони нерозплавленого вугілля [11].

2.2 Способи визначення тиску розпору вугільного завантаження

Тиск розпору вугільної шихти в процесі коксування відноситься до числа важливих факторів, що визначають зусилля видачі коксового пирога з пічних камер, а отже, і умови безпеки кладки коксових батарей.

Одночасно він характеризує й технологічні властивості вугільної сировини, оскільки відображає специфіку поведінки вугілля у стадії пластичного стану та певною мірою їх здатність до спікання та коксоутворення [14].

Тиск розпору можна визначати у електропечах печах напівпромислового масштабу з завантаженням шихти від 100 до 500 кг, або у лабораторних установках, де період визначення та маса наважки вугілля значно менші.

2.2.1 Установа для визначення тиску розпору вугільних шихт у електропечі з рухомою стінкою

На дослідному виробництві УХІНу була побудована електрична піч з рухомою стінкою (ширина камери 400 мм). Вугілля нагрівають через стінку з вогнетривкого матеріалу (шамоту). Це дозволяє більш точно моделювати промисловий процес коксування.

Пробу досліджуваної шихти в сталевій тонкостінній герметично завареній реторті 1 поміщають у піч, що зображена на рис. 2.2 з рухомою стінкою 2, яку щільно притискають до реторти.

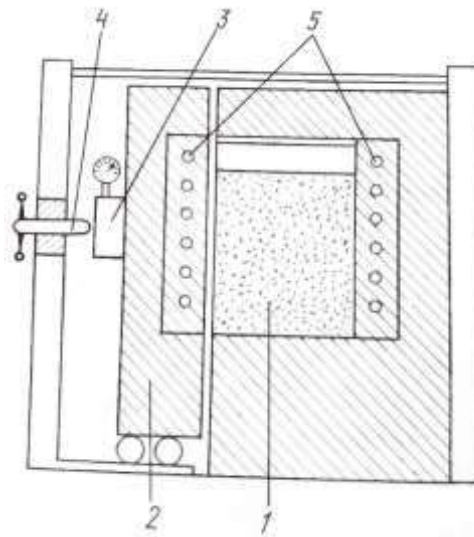


Рис. 2.2. Установка для визначення тиску розпирання

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [15].

Для зменшення тертя стіна поставлена на візок з шарикопідшипниками. Для вимірювань і реєстрації тиску розпору служить ємність для оливи 3 з манометром. Тиск розпирання коксівного завантаження передається на рухому стінку, яка, переміщуючись, тисне мембраною на шток 4, який жорстко укріплений на каркасі печі. Виникаючий тиск реєструється манометром. Піч обігрівають електронагрівачами 5. Парогазові продукти коксування виходять з верхньої частини реторти через спеціальний патрубок, з'єднаний з газовідвідною арматурою.

Крім тиску розпору у установці можна вимірювати температуру і внутрішній тиск газів у осьовій площині завантаження, тоді у реторту через патрубок у її задній стінці вставляють газовідвідну трубку і термопару у чохлі. Вільний кінець трубки приєднують до U – подібного манометру, а термопару до записуючого пристрою.

Разове завантаження у ретору шихт без брикетів становить 140 кг, шихт з брикетами 161 кг. Температура стін печі зі сторни нагрівальних елементів становить 1080°C.

Перевагою визначення тиску розпору у електропечі з рухомою стінкою є практично повне моделювання процесу коксування і виникнення тиску розпору [15].

2.2.2 Прискорений метод визначення тиску розпору вугілля і шихт для коксування

У НМетАУ за участю Запорізького коксохімічного виробництва було розроблено прискорений спосіб визначення тиску розпору вугілля і шихт для коксування, в основу якого покладено відомий класичний метод визначення тиску розпирання вугілля при постійному обсязі.

Показники динаміки тиску розпирання вугілля і шихт визначають у приладі, принципова схема якого наведена на рис.2.3

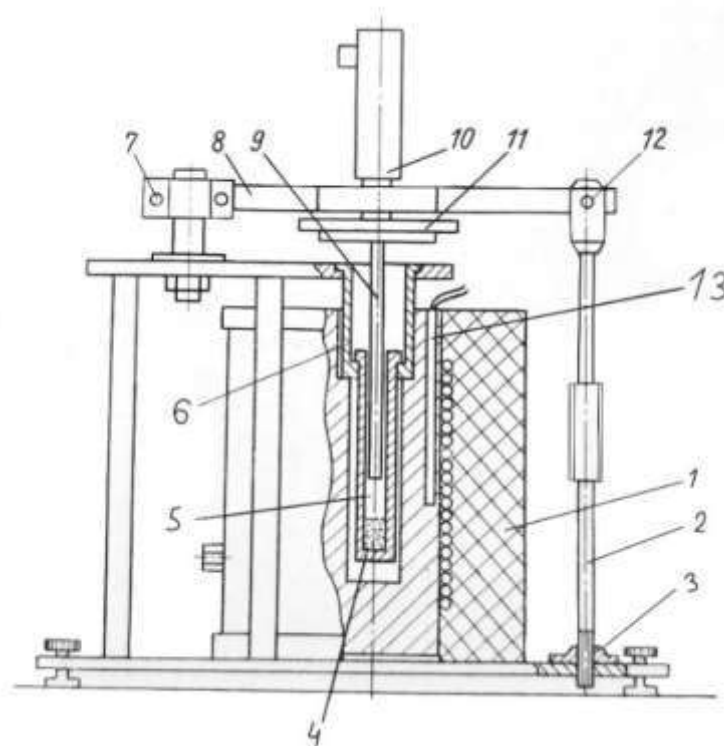


Рис. 2.3. Схема приладу для визначення тиску розпирання вугілля

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [14].

Він складається з нагрівальної печі 1, манометричного датчика 10 і гідравлічної мембрани 11, що стикається з головкою штока 9, що спирається нижньою частиною на металевий циліндр з отворами 5 і через нього на трубці 4 вугільну наважку, яка спресована у брикет.

Брикетування проводять для збереження форми зразка вугілля при випробуванні, так як при переході в пластичний стан незбрикетованого вугільного порошку навантажений штампель легко проникає в пластичну вугільну масу, витісняючи її з трубки через кільцеву щілину між головкою штампеля і внутрішньої її стінки. Крім того, брикетування збільшує показники тиску розпирання, що сприяє підвищенню диференційної здатності методу.

Важіль 8 з прикріпленою до нього мембраною 14 рухомий як у площині креслення (навколо осі 7), так і в площині перпендикулярної до нього. За допомогою важеля і стяжки 2 забезпечується сталість об'єму вугільної наважки в процесі нагрівання (запобігання спучування вугілля).

Крім того, система важіль - стяжка дозволяє проводити нагрівання та випробування вугілля під зовнішнім механічним навантаженням, яке накладається на вугілля обертанням за годинниковою стрілкою стяжного гвинта на початку дослідів.

Накладення на вугільне завантаження зовнішнього тиску перед нагріванням дозволяє отримати додаткові характеристики пластичності вугілля на стадії його розм'якшення і максимальної рухливості до початку дії сил розпирання вугілля, а також характеристики міцності спеченого вуглецевого залишку, що руйнується під дією зовнішньої сили.

Випробування здійснюється наступним чином. Досліджуване вугілля висушують, подрібнюють до розмірів зерен $<0,25$ мм; перемішують і в кількості 2 г завантажують в металеву трубку, після чого піддають брикетуванню під тиском $P = 220$ МПа. У трубку з приготованим вугільним брикетом опускають циліндр 5, поміщають її в склянку - тримач 6 і вставляють разом з ним в гніздо попередньо розігрітої до 480°C печі. Далі в трубку опускають щиток, на головку штока насаджують по центру гідравлічну мембрану і за допомогою стяжного

гвинта встановлюють вихідний зовнішній тиск на вугільний брикет, що дорівнює 2 МПа.

Через деякий час, коли вугілля нагріється до температури початку термічної деструкції та утворення пластичної маси, об'єм вугільного завантаження незначно зменшиться (практично $\Delta V = 0$), і початковий зовнішній тиск, прикладений до вугілля, починає знижуватися. Далі в міру виділення летких речовин усередині пластичної маси виникає тиск розпору, який зростає за досягнення максимуму. Після закінчення деякого часу відбувається зминання твердого залишку, що утворився в процесі нагрівання, і тиск всередині вугільного завантаження падає. Дослід вважається закінченим, коли на кривій тиску після зминання твердого залишку викреслюється пряма лінія, паралельна осі абсцис. В результаті дослідів отримують криву, що зображена на рис. 2.4, побудовану в координатах час - зовнішній тиск (до початку розм'якшення) і тиск розпору в пластичному стані.

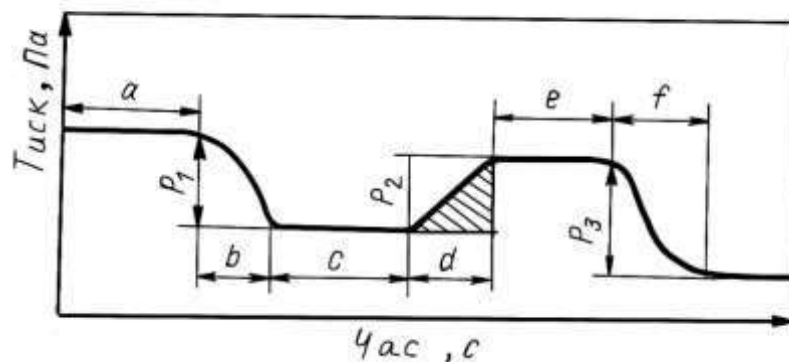


Рис. 2.4. Крива зміни динаміки тиску розпирання і характеристик пластичного стану вугілля

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [14].

Показниками, що характеризують безпосередньо тиск розпору вугілля є: P_2 – максимальний тиск розпирання, Па; d – тривалість дії тиску розпору, с.

Важлива перевага запропонованого способу визначення тиску розпору вугілля та шихт - його експресність (випробування тривають 20 - 25 хв). Крім того, одержувана в результаті дослідів крива зміни властивостей у пластичному

стані характеризує не тільки розпираючий потенціал вугілля (тривалість дії внутрішньо-пластичного тиску розпирання та його максимальну величину), але і дозволяє оцінити термічну стійкість органічної маси вугілля до початку термічного розкладання і у період максимальної пластичності, деформованості на початковій стадії деструкції в умовах накладання зовнішнього тиску, стійкості твердого залишку термічної деструкції до механічного навантаження та ряд інших властивостей [14].

2.2.3 Уніфікована лабораторна піч для прямого визначення тиску розпору

УХІН була розроблена уніфікована лабораторна піч для прямого визначення тиску розпирання насипних і трамбованих шихт, розрахована на завантаження 1 кг вугілля, що зображена на рисунку 2.5.

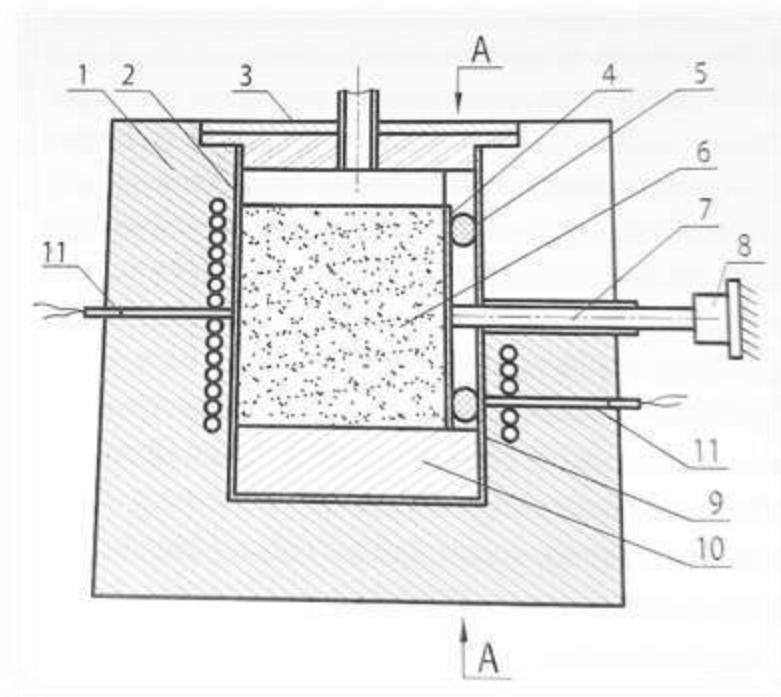


Рис. 2.5. Уніфікована піч для визначення тиску розпирання трамбованого та насипного завантаження

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [12].

Розроблена конструкція печі дозволяє визначити величину тиску розпирання як трамбованих, так і насипних шихт (вугілля). Для трамбованих шихт вологість повинна відповідати середній вологості в заводських умовах, а саме 11,5%. Висота трамбованого пирога, що отримується в утрамбовувачі, становить 90 мм. Враховуючи розміри його основи (100 x 100 мм), щільність пирога складає 1,110 кг/дм³, що знаходиться на рівні щільності промислового трамбованого пирога при цій вологості. Враховуючи, що у промисловій печі середня величина зазору між пирогом і стінами, що гріють, становить по 20 мм (посередині довжини печі), ширина реторти, в яку поміщають трамбований пиріг, повинна бути на 20 мм більше його товщини (тобто $90 + 20 = 110$ мм).

У печі застосовують двостороннє нагрівання температури передньої стінки 950°C, а задньої стінки - 900°C. Різниця температур передньої і задньої стінок пояснюється необхідністю забезпечення однакової швидкості коксування передньої і задньої частини вугільного пирога (передня частина віддалена від гріючої стінки на 20 мм, задня частина щільно стикається з гріючою стінкою). Така різниця температур забезпечує зустріч пластичних шарів посередині ширини пирога.

Тривалість коксування становить 1 год 35 хв - 1 год 50 хв. Після закінчення випробування обігрів вимикають, а реторту залишають у печі на 3 години для термічного витримування коксу. Після цього реторту, що охолоне приблизно до 300°C, витягають з печі і залишають на повітрі до охолодження. Таким чином, забезпечується «сухе» гасіння коксу. При необхідності отриманий кокс випробовують на механічну міцність у спеціальному барабані і досліджують за іншими методиками. Для випробування насипного вугільного завантаження футерування реторти виконують таким чином, щоб сталева пластинка товщиною 3 мм з боків накладалась на футерівку із заходом 5 мм, утворюючи при цьому стінку, у котру упирається кварцевий стрижень. Така ж пластинка використовується і при дослідженні трамбованого вугільного завантаження.

У нижній частині під пластинкою, для виключення зчеплення з дном реторти, підкладають полосу з рихлого азбесту шириною 10 мм і товщиною 3 –

4 мм. Перед завантаження шихти пластинку жорстко фіксують за допомогою дерев'яного шаблону товщиною 17 мм. Ширина насипного завантаження складає 90 мм, вологість насипного завантаження прийнята 10%, щільність 0,8 кг/дм³. Після завершення завантаження шаблон виймають, притримуючи пластинку за допомогою стрижня, що протягнений через патрубок реторти. Щоб не допустити зміщення пластинки при закріпленні кришки реторти і встановленні її у піч, між передньою стінкою і пластинкою по її бокам вставляють еластичні розпірні вставки, виконані з паперу.

Для виключення щілини між стрижнем і датчиком тиску останній піджимають до стрижня з зусиллям 0,2 кПа, котре приймається за нульовий показник, а потім вираховується при кінцевому визначенні тиску розпирання.

Далі процес ведеться як і при трамбованому завантаженні. Тривалість процесу коксування (від встановлення реторти у піч до досягнення максимального тиску розпирання) при насипному завантаженні менше на 20 – 25 хвилин, ніж при трамбованому і складає 1 год 15 хвилин – 1 год 25 хвилин [12].

2.3 Вивчення впливу факторів на величину тиску розпору та прогнозування показника

Властивості пластичної маси і характер протікання процесу спікання мають свої особливості залежно від ступеня метаморфізму, мацерального складу. Малометаморфізоване вугілля при піролізі утворює рідкофазні продукти, що вирізняються невисокою термічною стійкістю, низькою плинністю. Пластична маса вугілля середньої стадії метаморфізму більш однорідна за складом, містить меншу кількість низькомолекулярних компонентів, рідкофазні компоненти проявляють добре виражену пластифікуючу дію. У свою чергу однорідність пластичної зони є фактором, який визначає її газопроникність.

В роботі в якості об'єкта досліджень використовували 17 вугільних концентратів. З сімнадцяти вугільних концентратів шість представлені маркою Г, п'ять – маркою Ж, два – маркою К, по одному – марками ДГ, ГЖ, НЛК та ПС. Тиск розпирання визначали згідно State standard of Ukraine 8724:2017 за допомогою установки, яка відтворює в малому масштабі той же процес розвитку тиску розпирання, що має місце в промисловій печі.

За результатами досліджень можна відзначити, що тиск розпирання безумовно залежить від властивостей вугілля, обумовлених його ступенем метаморфізму. Враховуючи, що від природи, ступеня метаморфізму, перетворення органічної маси вугілля, змінюється його поведінка під час коксування найбільший тиск розпирання розвивається при коксуванні коксового та піснуватого спікливого вугілля, мінімальні значення характерні для вугілля газової групи, жирне вугілля, яке утворює найбільшу кількість рідинних продуктів, характеризується максимальною товщиною пластичного шару, не розвиває небезпечний тиск розпирання (рис.2.6).

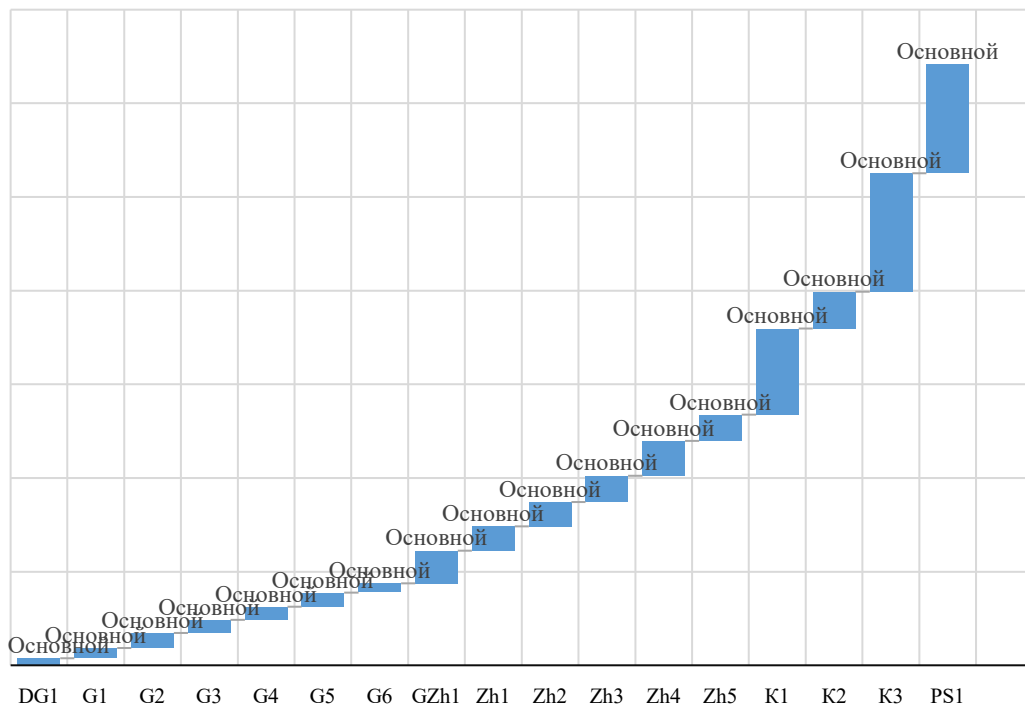


Рис. 2.6. Тиск розпирання (P^m , кПа) вугільних концентратів різних технологічних марок

Примітка. Джерело: Розроблено автором

Оцінюючи отримані дані, можна стверджувати, що максимальні пластично-в'язкі характеристики фіксуються у вугілля марки Ж, мінімальні – у коксового та піснувато - спікливого вугілля. Так, аналізуючи пластично-в'язкі властивості вугільної сировини треба відмітити, що для вугілля газової групи (марки ДГ, Г та ГЖ) максимальна плинність F_{max} знаходилась в межах від 4 до 4102 поділів шкали при товщині пластичного шару в середньому $y = 13$ мм, також фіксували невеликий інтервал пластичності $\Delta t_{сер} = 60$ °С; для жирного вугілля товщина пластичного шару становила в середньому 22 мм, а F_{max} змінювалась в інтервалі від 1993 до 14054 поділів шкали з досить широким інтервалом пластичності, який в середньому склав $\Delta t_{сер} = 90$ °С, для коксового вугілля (марки К та НЛК) при достатньо високій спікливості (товщина пластичного шару становила 14 мм та 22 мм) отримали невисокі значення плинності, відповідно 86 до 8070 поділів шкали, піснувато - спікливе має найнижчий показник плинності 9 та $\Delta t = 51$ °С.

Отже, у випадку вугілля газової групи невелика кількість пластичної маси, яка утворюється при коксуванні, є неоднорідною, швидко починає затвердівати, тому парогазові продукти можуть вільно проходити через неоднорідний шар, внаслідок чого тиск розпирання має мінімальні значення ($P_{сер}^H = 2,5$ кПа).

Для жирного вугілля спостерігається утворення великої кількості пластичної маси, її однорідність обумовлює ускладнення умов евакуації летких продуктів, але за рахунок високої плинності не створює великого опору та не призводить до розвитку критичного тиску розпирання ($P_{сер}^H = 5,9$ кПа). Для коксового вугілля також характерно утворення достатньої кількості рідинних продуктів, але при цьому спостерігається низька плинність, висока в'язкість та, як наслідок, низька газопроникність пластичної маси, що і призводить до підвищення тиску всередині пластичної зони та обумовлює критичні значення тиску розпирання ($P_{сер}^H$ від 7,9 до 25,3 кПа).

З використанням інструментів регресійного аналізу, встановлено взаємозв'язки між показниками якості вугілля та тиском розпору, які характеризуються відповідним коефіцієнтом кореляції, які вказані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Коефіцієнти кореляції

	$W_t^r, \%$	$A^d, \%$	$S^d, \%$	$V^{daf}, \%$	$y, \text{мм}$	I	V_t	P^H	R_0
$W_t^r, \%$	1								
$A^d, \%$	-0,06235	1							
$S^d, \%$	0,05408	-0,32396	1						
$V^{daf}, \%$	0,285932	-0,41578	0,211335	1					
$y, \text{мм}$	-0,44023	0,604764	0,056666	-0,2576	1				
I	-0,17499	-0,65153	0,123432	0,094293	-0,50995	1			
V_t	0,061483	0,710336	-0,28424	-0,3417	0,573451	-0,951	1		
P^H	0,052904	0,24579	-0,15244	-0,83679	-0,05709	-0,2492	0,384603	1	
R_0	-0,21948	0,41091	-0,13919	-0,94638	0,228944	-0,1579	0,384787	0,814979	1

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [16].

Також встановлено вплив генетичних та технологічних властивостей вугілля на формування тиску їх розпирання при коксуванні. Залежність тиску розпирання від виходу летких речовин (V^{daf}) представлена на рис 2.7.

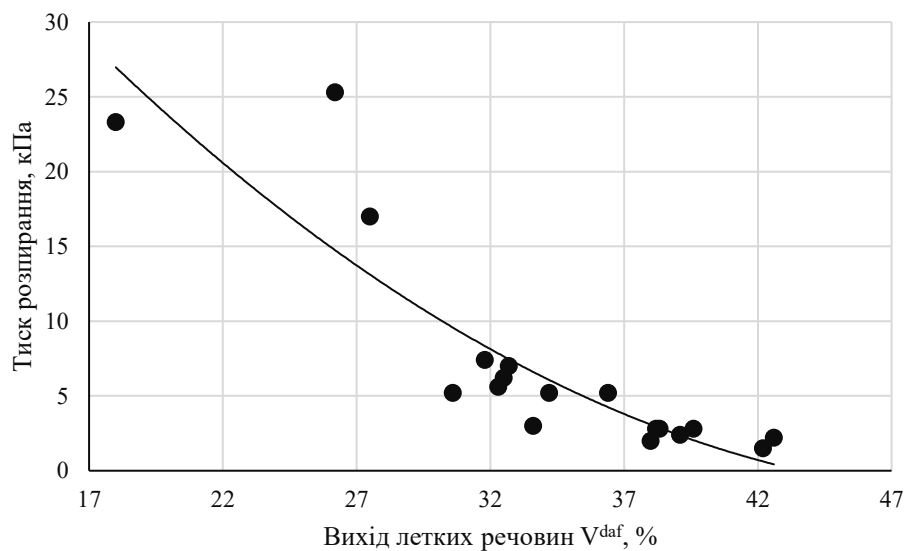


Рис. 2.7. Залежність тиску розпирання від виходу летких речовин

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [16].

Залежність тиску розпору від показника відбиття вітриніту вказана на рисунку 2.7.

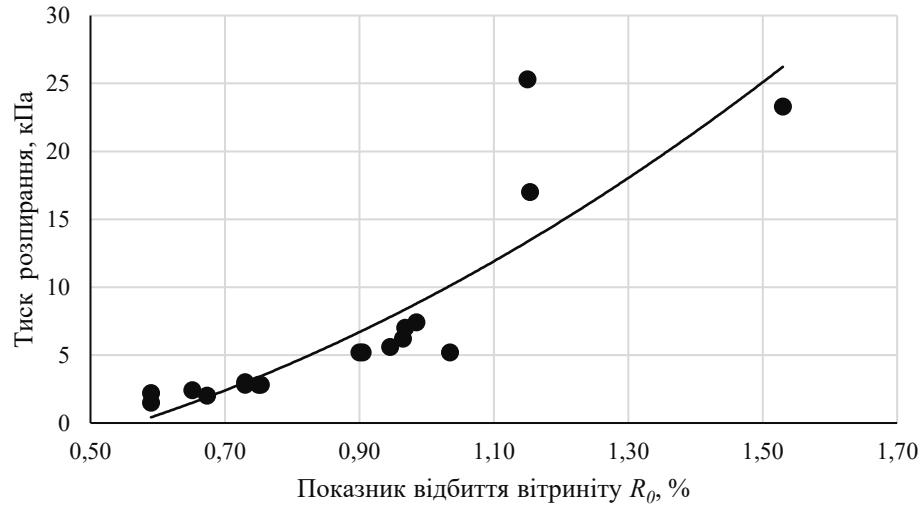


Рис. 2.8. Залежність тиску розширення від показника відбиття вітриніту

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [16].

Вплив вмісту вітриніту (V_t) на формування величини тиску розпору вказаний на рисунку 2.9.

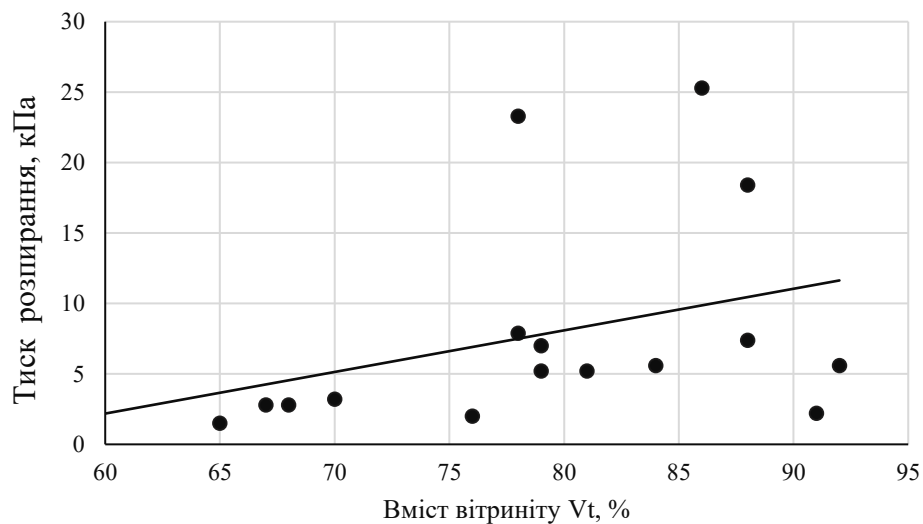


Рис. 2.9. Залежність тиску розширення від вмісту вітриніту

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [16].

Вплив вмісту інертиніту на формування величини тиску розпору зображено на рисунку 2.9.

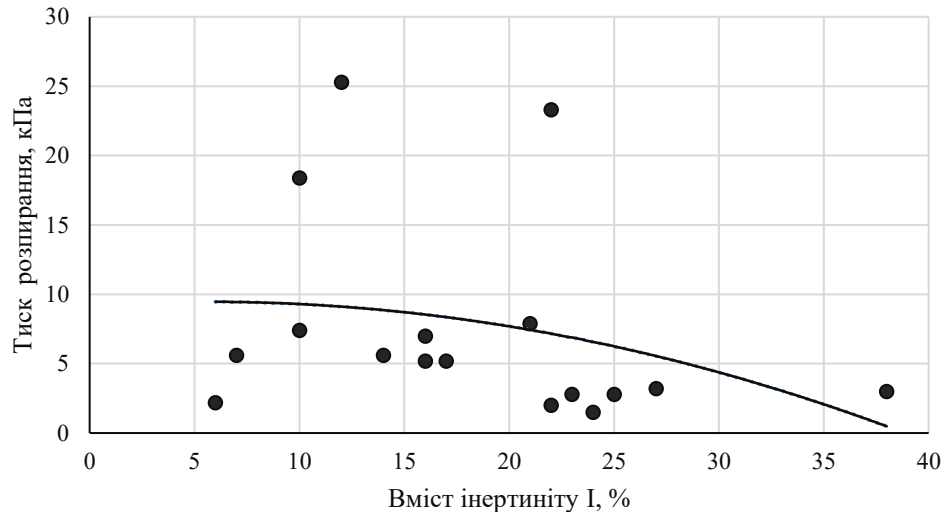


Рис. 2.10. Залежність тиску розпирання від вмісту інертиніту

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [16].

Встановлено, що підвищення виходу летких речовин на 1% вугільної сировини призводить до зменшення тиску розпирання при їх коксуванні на 0,9646 кПа. При зростанні вмісту вітриніту на 0,1% спостерігається зростання тиску розпирання на 2,4927 кПа. Залежності тиску розпирання від ступеню метаморфізму з урахуванням показника його відбиття та виходу летких речовин шихти характеризуються високими коефіцієнтами кореляції r (0,87 та 0,89), що свідчить про їх статистичну значимість [16].

Використовуючи досліджені вугільні концентрати, були складені 20 варіантів вугільних шихт. У таблиці 3 наведено марочні склади вугільних шихт, фактичні результати визначення їхнього тиску розпирання за насипного завантаження та їхні розрахункові значення. За отриманими даними наведено відношення фактичних і розрахункових значень тиску розпирання експериментальних шихт (P_{ϕ}^n/P_p).

Проаналізувавши отримані результати, видно, що для шихт з участю вугілля газової групи від 14 до 20 % середній коефіцієнт неадитивності тиску розпирання становив 0,86.

Середній коефіцієнт неадитивності вугільних шихт із частковою участю вугілля газової групи 22 – 35 % склав 0,65.

Таблиця 2.2

**Марочні склади вугільних шихт, значення їхнього тиску розпирання
(фактичні та розрахункові значення)**

Варіант	Марочний склад, %				Сума Ж+К	Тиск розпирання, Р ^н кПа			Розрахункове через коефіцієнт 0,65 Р _р ^{0,65}	Співвідношення розрахункового значення з коефіцієнтом 0,65 та фактичного Р ^{0,65} _р / Р ^н _ф
	Г	Ж	К	ПС		Факт, Р ^н _ф	Розрахункове значення за адитивністю, Р _р	Співвідношення Р ^н _ф /Р _р		
1	14	39	45	2	84	9,7	11,2	0,87	7,3	0,75
2	16	37	44	3	81	9,5	11,2	0,85	7,3	0,77
3	17	33	46	4	79	10,4	12,1	0,86	7,9	0,76
4	17	30	49	4	79	11,1	12,5	0,89	8,2	0,74
5	19	33	48	0	81	9,4	11,2	0,84	7,3	0,78
6	20	30	46	4	76	10,4	12,0	0,87	7,8	0,75
7	22	28	46	4	74	8,6	12,0	0,72	7,8	0,91
8	24	37	39	0	76	6,9	10,2	0,68	6,6	0,96
9	25	28	43	4	71	7,9	11,5	0,69	7,5	0,95
10	25	28	37	10	65	8,3	12,0	0,69	7,8	0,94
11	25	38	33	4	71	6,9	10,3	0,67	6,7	0,97
12	26	28	42	4	70	7,3	11,2	0,65	7,3	1,00
13	27	38	33	4	71	6,6	10,2	0,65	6,6	1,00
14	27	28	37	8	65	7,4	11,6	0,64	7,5	1,01
15	27	28	41	4	69	7,1	11,2	0,63	7,3	1,03
16	29	28	36	7	64	7,2	11,2	0,64	7,3	1,01
17	29	27	40	4	67	7,1	11,1	0,64	7,2	1,01
18	30	33	33	4	66	6,1	10,2	0,60	6,6	1,08
19	32	23	43	2	66	6,4	11,0	0,58	7,2	1,13
20	35	21	43	1	64	5,7	10,5	0,55	6,8	1,19

Примітка. Джерело: Розроблено автором

Таким чином, враховуючи склади шихт за участю вугілля газової групи понад 22 %, рекомендуємо використовувати коефіцієнт неадитивності тиску розпирання 0,65.

Також необхідно враховувати, що при складанні шихт для коксових батарей з великою кількістю регламентних камер необхідним критерієм вугільної шихти є величина усадки коксового пирога, що має знизити небезпеку буріння і забезпечити рівномірність видачі коксових камер.

Слід зазначити, що поряд з основними факторами, що визначають тиск розпирання шихт, як-от марочний і компонентний склад, істотний вплив чинять

технологічні фактори, як-от, наприклад, рівень помелу шихти, її насипна густина в камері коксування, окисненість компонентів шихти та інші.

Для перевірки можливості прогнозування тиску розпирання вугільних шихт використано регресійне рівняння (2.1), отримане на основі досліджень властивостей вугільних сумішей (вихід летких речовин, помел), та рівняння (2.2)-(2.3), розроблене за результатами досліджень вугільних концентратів (виходу летких речовин, показника відбиття вітриніту та вмісту вітриніту). Зазначені рівняння наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Регресійні рівняння

№	Рівняння	Статистична оцінка		
		r	$D, \%$	$\sigma, \text{од.}$
(2.1)	$P^H = -0,829 \cdot V_{\text{ш}}^{daf} - 0,071 \cdot \gamma_{(3-0, \text{мм})} + 39,878$	0,85	72,6	0,31
(2.2)	$P^H = 24,251 \cdot R_0 - 0,00912 \cdot Vt - 12,919$	0,89	78,8	2,96
(2.3)	$P^H = -0,8285 \cdot V^{daf} + 0,0307 \cdot Vt + 31,986$	0,9	81,2	2,79

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [17].

Результати за фактичними даними вимірювань величини P^H , величин, розраховані за правилом адитивності та формулами (2.1) – (2.3), представлено в таблиці 2.4.

Порівнюючи результати обчислень з фактичними результатами вимірювань, необхідно зазначити, що відсутня адитивність показника P^H у багатокомпонентних вугільних сумішах. При чому, значення тиску розпирання P^H , розрахованого за правилом адитивності, у всіх шихтах вище, ніж експериментальні значення.

Таблиця 2.4

**Значення тиску розпирання за фактичними вимірюваннями,
розраховані за правилом адитивності та розраховані формулами (3) – (5)**

Проби шихти	Фактичні значення P^H за результатами вимірювань, кПа	Значення P^H , розраховані за правилом адитивності, кПа	Значення P^H , розраховані за рівнянням (2.1), кПа	Значення P^H , розраховані за рівнянням (2.2), кПа	Значення P^H , розраховані за рівнянням (2.3), кПа
1	7,00	11,07	7,2	9,6	7,4
2	6,60	11,80	7	9,1	7,3
3	6,80	12,11	7,1	9,9	7,4
4	6,70	12,07	6,3	9,7	6,4
5	7,10	10,66	7,1	10,4	7,4
6	8,10	11,38	7,5	9,9	7,8
7	7,10	12,01	7,1	10,1	7,5
8	6,9	11,93	6,9	10,4	7,2
9	7,9	11,1	7,8	9,6	8,1
10	8,1	11,4	7,8	10,1	8
11	7,6	13,1	7,9	10,3	8,1
12	7,3	10,4	7,3	9,4	7,5

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [17].

Порівняння результатів вимірювань та обчислень P^H представлено на рисунку 2.11.

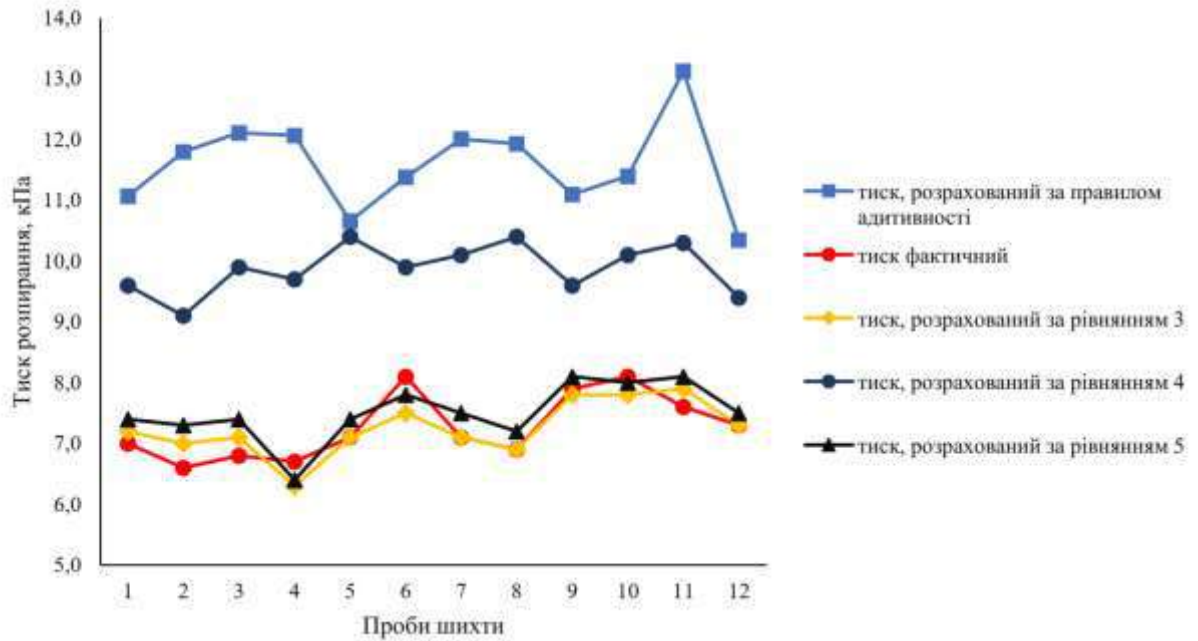


Рис. 2.11. Порівняння результатів фактичних, адитивних та прогнозованих значень P^H

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [17].

Рівняння (2.2), яке враховує тільки петрографічні характеристики, дає неточний результат, отримані значення P^H також вище фактичних.

Найкращий результат прогнозування фіксували при використанні математичних моделей, які враховують вихід летких речовин, як основний параметр, та додаткові фактори – вміст вітриніту і помел шихти. Отже, рівняння (2.1) та (2.3) можна рекомендувати для прогнозування тиску розпирання.

Вплив тиску розпирання на металургійні властивості коксу за показниками механічної міцності (M_{25} , M_{10}) оцінювали за допомогою методів математичної статистики. Так, отримали наступні коефіцієнти кореляції, які зображені в таблиці 2.5.

Коефіцієнти кореляції між тиском розпирання та якісними характеристиками коксів з шихт

	R^H , кПа	M_{25} , %	M_{10} , %
R^H , кПа	1		
M_{25} , %	0,934805	1	
M_{10} , %	-0,87333	-0,94906	1

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [17].

Графічні залежності дробимості коксу M_{25} та стираності M_{10} на формування величини тиску розпору R^H показані на рисунках 2.12 та 2.13.

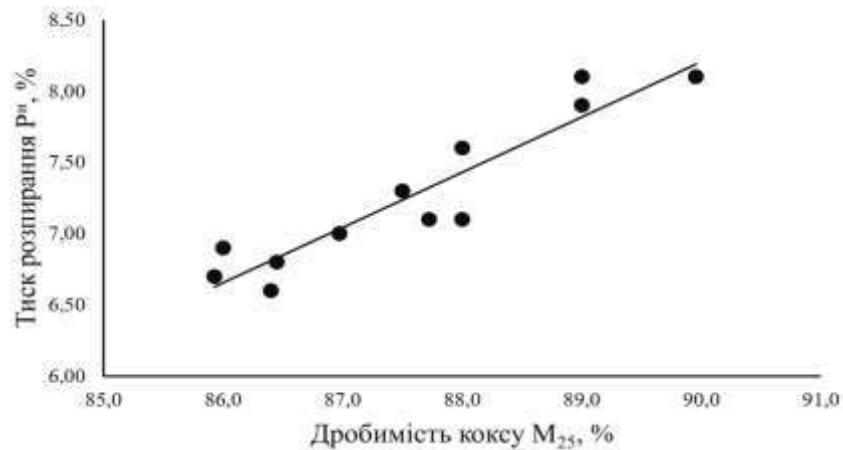


Рис. 2.12. Взаємозв'язок дробимості коксу M_{25} та тиском розпирання R^H

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [17].

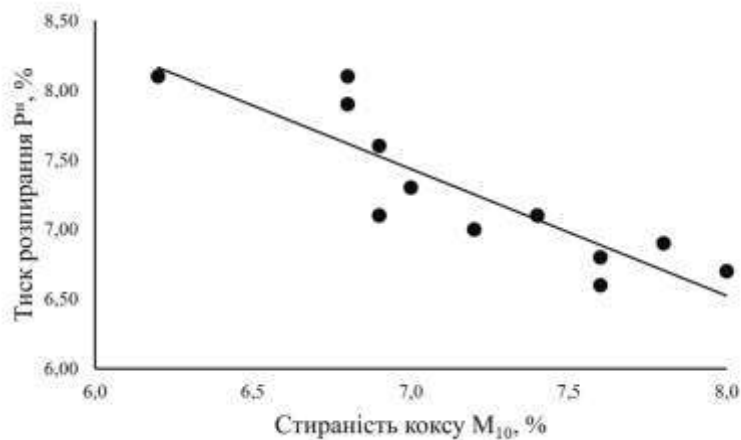


Рис. 2.13. Взаємозв'язок стираності коксу M_{10} та тиском розпору R^H

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [17].

Рівняння, які описують отримані графічні залежності, наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Математичні залежності

№	Вид залежності	Статистична оцінка	
		r	D, %
(2.4)	$M_{25} = 2,58 \cdot P^H + 68,8$	0,93	87,39
(2.5)	$M_{10} = -1,099 \cdot P^H + 15,17$	0,87	76,27

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням: [17].

Необхідно зазначити, що підтверджено тісний зв'язок між тиском розпирання та фізико-механічними властивостями коксу для доменної плавки. Математичні моделі мають лінійний характер та високі статистичні оцінки (коефіцієнти кореляції r становлять 0,93 та 0,87).

Зростання тиску розпирання свідчить про ускладнене газовиділення, що збільшує час знаходження продуктів термічної деструкції в пластичному стані та поглиблює взаємодію між ними. Це може призводити до утворення додаткових рідинних продуктів, розм'якшення вугільних зерен та виникнення між ними більш повного контакту, що і обумовлює підвищення механічної міцності коксу. Так, при збільшенні тиску розпирання на 1 кПа можна очікувати зростання механічної міцності коксу за показником дробимості M_{25} приблизно на 2,6 %, та зниження стираності коксу M_{10} на 1 % [17].

2.4 Висновки до основної частини

У основній частині було розглянуто механізм формування тиску розпору під час коксування та встановлено три аспекти впливу: щільність пластичного

шару, стиснення напівкоксу та забивання пір напівкоксу високомолекулярними компонентами.

Детально викладено про способи визначення тиску розпору. Величину тиску розпору знаходять у електропечах печах напівпромислового масштабу (електропіч з рухомою стінкою) із завантаженням шихти від 100 до 500 кг, або у лабораторних установках, де період визначення та маса наважки вугілля значно менші. Установки напівпромислового масштабу дозволяють практично повністю моделювати процес коксування і виникнення тиску розпору, однак побудова таких установок потребує високих капіталовкладень.

Вивчено вплив факторів на величину тиску розпору та описано рівняння за допомогою яких можна прогнозувати величину тиску розпору. Для аналізу впливу сировинних та технологічних факторів на величину тиску розпирання використані методи математичної статистики.

Підтверджено взаємозв'язок тиску розпирання від компонентного складу вугільної суміші, виходу летких речовин шихти, петрографічних характеристик (вмісту вітриніту).

Встановлено взаємозв'язки між показниками якості вугілля та тиском розпору, які характеризуються відповідним коефіцієнтом кореляції.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розглянуто технологію коксування вугілля, характеризувано вимоги до коксу та коксового газу, як основних продуктів коксування.

Детально описано механізм та хімізм термічних процесів переробки вугілля, виділено основні елементи механізму переходу у пластичний стан. Розглянуто фактори, що впливають на спікання вугілля, структуру вугільного завантаження у процесі коксування та процеси формування кускового коксу.

Згідно теми роботи було характеризувано тиск розпору у вугільному завантаженні. Доведено необхідність вивчення сировинних та технологічних факторів на формування тиску розпору.

Для розвитку максимального тиску розпирання коксівної вугільної завантаження потрібен певний час, протягом якого в ній відбуваються структурні перетворення - перехід вугілля (шихти) в пластичний стан, утворення коксу і напівкоксу.

Визначено, що основним чинником формування тиску газів у пластичному шарі є неможливість парогазових продуктів подолати бар'єр, через щільність утвореної пластичної маси на гарячій стороні, включаючи шари напівкоксу та коксу. Найбільш щільним пластичним шаром характеризується марка вугілля К та Ж.

Доведено, що кількість виділених летких речовин із вугільної шихти не є основною причиною утворення тиску коксування у коксовій печі, оскільки для більшості вугілля з високим вмістом летких, зазвичай характерний низький тиск.

Також вивчено вплив технологічних та сировинних факторів на формування величини тиску розпору. У першу чергу формування тиску розпору залежить від ступеню метаморфізму вугілля, за марочним складом найбільший тиск розпору характерний для К та ПС, а найменший – для Г.

Розглянуто установки напівпромислового та лабораторного масштабу для визначення тиску розпору.

Встановлено вплив генетичних та технологічних властивостей вугілля на формування тиску їх розпирання при коксуванні.

Підтверджено тісний зв'язок між тиском розпирання та фізико-механічними властивостями коксу для доменної плавки. Математичні моделі мають лінійний характер та високі статистичні оцінки.

Показано можливість прогнозування тиску розпирання вугільних шихт з урахуванням виходу летких речовин та показника відбиття вітриніту. Використання запропонованих рівнянь (3) та (5) дають можливість прогнозувати тиск розпирання та оптимізувати склад вугільних шихт, оперуючи даними властивостей вугільних концентратів, які обов'язково визначаються на коксохімічному підприємстві для контролю якості сировини. Використання рівняння для прогнозування тиску розпирання дозволить контролювати показник при перешихтовках та скоротити кількість експериментальних вимірювань тиску розпирання в умовах конкретного коксохімічного виробництва.

Підтверджено механізм впливу тиску розпирання на характеристики міцності коксу. Так, зростання тиску розпирання обумовлює збільшення кількості рідинних продуктів, поглиблення їх взаємодії з розм'якшеними вугільними зернами, що поліпшує спікливість і коксівність шихти і, як наслідок, підвищення механічної міцності коксу.

Визначення факторів впливу на формування величини тиску розпирання дає можливість планувати та відповідно корегувати компонентний склад виробничих вугільних шихт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lyalyuk V.P., Kassim D.A., Shmeltser E.O., Lyakhova I.A. Improving the technology of preparing coal for the production of blast-furnace coke under the conditions of multi-basin raw material base. Message 1. Optimizing the composition of coal batch by means of petrographic characteristics. *Petroleum and coal*. 2019. №61(1). P. 90-93.
2. Старовойт А.Г, Коверя А.С. Про природу розвитку тиску коксування вугільного завантаження. *Вуглехімічний журнал*. 2013. №1. С. 37-39.
3. Pasternak A.A., Skripchenko N.P., Kuznichenko V.M., Sytnik A.V. The developing of criteria levels of coal blends distension pressure for coke oven batteries of PJSC «Avdiivka coke». *Journal of coal chemistry*. 2011. №5. P.52-55.
4. Довідник коксохіміка: у 6 т. Харків: Видавничий дім «ІНЖЕК», 2014. Т. 2: Виробництво коксу/загл. ред. Рудики В.І., Зінгермана Ю.Є. 536 с.
5. Kopeliovich L.V. Differences in the Coking Pressure of Coal. *Coke Chem*. 2009. 52. P. 5–8.
6. Pearson D.E., Pearson R.A., Jiao Y., Park H.K. Encapsulites, and the suppression of internal gas pressure in industrial metallurgical coal blends. *Fuel*. 2017. №200. P. 545–554.
7. Братичак М.М., Пиш'єв С.В., Рудкевич М.І. Хімія та технологія переробки вугілля. Підручник. Львів: Бескид Біт, 2006. 272 с.
8. Solovyev M.A, Shmalko V.M. Various factors influence on caking ability and caking power of coals of different metamorphism degree. *Journal of coal chemistry*. 2009. №3-4. P.19 - 24.
9. Sharma A.K., Das B.P., Tripathi P.S.M. Influence of properties of bituminous binders on the strength of formed coke. *Fuel Processing Technology*. 2002. №75. P. 201–214.
10. Fedunets Yuliia, Shmeltser Kateryna. The main aspects of the formation of the coking pressure. In Proceedings of the 6th International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence - ISC SAI, ISBN 978-989-758-600-2

11. Guelton N., Rozhkova T.V. Prediction of coke oven pressure. *Fuel*. 2015. №139. P. 682–703.
12. Довідник коксохіміка: у 6 т. Харків: Видавничий дім «ІНЖЕК», 2010. Т. 1: Вугілля для коксування. Збагачення вугілля. Підготовка вугілля до коксування / общ. ред. Борисова Л.М., Шаповала Ю.Г. 728 с.
13. Кузніченко В.М., Шульга І.В., Ситник О.В. Тиск розпирання вугілля та шихт в процесі коксування: Монографія. Харків: Планета-Прінт, 2021. 210 с.
14. Ситник О.В., Кузніченко В.М., Шульга І.В. Тиск розпирання при коксуванні бінарних сумішей вугілля насипним методом. *Вуглехімічний журнал*. 2011. №1-2. С. 41-48.
15. Мукіна Н.В., Черноусова О.П., Кузніченко В.М., Ситник О.В. Досвід впровадження лабораторної установки для визначення тиску розпирання вугілля та шихт на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». *Вуглехімічний журнал*. 2016. №3-4. С. 3-10.
16. Мірошніченко Д.В., Шмельцер К.О., Кормер М.В., Ситник О.В., Авдіюк І.М. Аспекти впливу на величину тиску розпирання вугільної шихти та металургійні властивості коксу. Повідомлення 1. Формування тиску розпирання в залежності від властивостей вугільних концентратів. *Вуглехімічний журнал*. 2024. №5. С.38-48
17. Мірошніченко Д.В., Шмельцер К.О., Кормер М.В., Ситник О.В., Авдеюк І.М. Аспекти впливу на величину тиску розпирання вугільної шихти та металургійні властивості коксу 2. Прогнозування тиску розпирання вугільних сумішей та його вплив на фізико-механічні властивості коксу. *Вуглехімічний журнал*. 2024. №6. С.13-27.

ДОДАТКИ

Звіт подібності

метадані

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок
Федунець Юлія Ігорівна

Автор Науковий керівник / Експерт
Федунець Юлія Ігорівна Шмельцер К.О.

підрозділ
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Обсяг знайдених подібностей

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



Тривога

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

Заміна букв	В	4
Інтервали	A	0
Мікропробіли]	0
Білі знаки	В	0
Парафрази (SmartMarks)	a	12

Подібності за списком джерел

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

10 найдовших фраз

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	Колір тексту
1	https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/08e52c93-5862-44a1-a21e-063125ac084f/content	136 1.62 %
2	ФОРМУВАННЯ ТИСКУ РОЗПИРАННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПРИРОДИ ВУГЛЬНОЇ СИРОВИНИ 11/26/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	132 1.58 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача

Федунець Юлії Ігорівни

(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 впливу сировинних та технологічних факторів на формування тиску розпору

Керівник кваліфікаційної роботи: зав. каф., к.т.н., доцент Шмельцер К.О.
(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Шмельцер К.О.	зарах	20.06.25	<i>Шмельцер</i>	
2	Основна частина	Шмельцер К.О.	зарах	20.06.25	<i>Шмельцер</i>	

Зав. кафедри

Шмельцер
(підпис)

К.О. Шмельцер

(ініціали, прізвище)

« 2 » червня 2025 р.

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра

Здобувачки Федунець Юлії Ігорівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-21

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Вивчення впливу сировинних та технологічних факторів на формування тиску розпору

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>57;</u>
таблиць	<u>7;</u>
схем і рисунків	<u>16;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню формування тиску розпору у вугільному завантаженні. На підставі дослідження пластично-в'язких властивостей вугільних концентратів за методом Гізелера підтверджено зв'язок особливостей пластичного стану вугілля різного ступеню метаморфізму з тиском розпирання, яке воно розвиває при коксуванні. В роботі встановлено взаємозв'язок тиску розпирання від генетичних та технологічних властивостей вугільної сировини (виходу летких речовин та показника відбиття вітриніту).

Розроблено регресійні рівняння для прогнозування тиску розпирання з урахуванням показника відбиття вітриніту, вмісту вітриніту, фюзенізованих компонентів, температури максимальної плинності та виходу летких речовин шихти рівняння, які можна використовувати для оптимізації компонентного складу та якості виробничих шихт, враховуючи їх значний вплив на питомий опір коксу.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Суттєвих недоліків не виявлено.

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

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання роботи, уміння користуватися літературними матеріалами

Здобувачка Федунець Ю.І. під час написання кваліфікаційної роботи бакалавра показала відмінну загальну та спеціальну підготовку, вміння працювати з літературними та нормативними джерелами. Над розділами роботи працювала самостійно, висновки та розроблені рекомендації є актуальними, ефективними та обґрунтованими.

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Рекомендації щодо використання розроблених регресійних рівнянь для прогнозування тиску розпору на підставі властивостей вугільних концентратів та шихт можна використовувати для оптимізації компонентного складу виробничих шихт на коксохімічному виробництві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра відмінно/95/А

Керівник Шмельцер Катерина Олегівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Зав.кафедри, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

« 13 » червня 2025 р.

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

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

(бакалавра, магістра)

Здобувача Федунець Юлія Ігорівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи ХТ-21
Тема кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Вивчення впливу сировинних та технологічних факторів на формування тиску розпору
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Вивчення технологічних та сировинних факторів на величину тиску розпирання. Оптимізація компонентного складу вугільних шихт з урахуванням тиску розпору.
Переваги кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Проведені експериментальні дослідження щодо вивчення формування тиску розпору у вугільному завантаженні при впливі різних факторів. Розроблено регресійні рівняння для прогнозування тиску розпирання з урахуванням показника відбиття вітриніту, вмісту вітриніту, фюзенізованих компонентів, температури максимальної плинності та виходу летких речовин шихти. Рекомендовано його використання для прогнозування зазначеного показника.
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u>
(бакалавра, магістра)
Суттєвих недоліків не виявлено.
Рекомендації: робота може бути рекомендована до захисту.
Рецензент <u>Десма Н.Д.</u>
(прізвище, ім'я та по-батькові)

доцент, к.т.м.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Десма

(підпис)

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

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
 навчальної/наукової праці;
 наукових матеріалів

*Вивчення впливу сировинних та технологічних факторів на
 формування тиску розпору*

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

ФЕДУНЕЦЬ Юлія Ігорівна

(ПІБ)

кафедра Хімічної технології та інженерії,

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 57 сторінки друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 5,17 %.

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 Хімічної технології та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «13» червня 2025 р. протокол №16.

Керівник підрозділу

(підпис)

К. Шмельцер

Дата «13» червня 2025 р.

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

Я, *Федунець Юлія Ігорівна*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Вивчення впливу сировинних та технологічних факторів на формування тиску розпору») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

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

13.06.2025



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

Я, *ФЕДУНЕЦЬ Юлія Ігорівна*, здобувач(ка) IV курсу, групи ХТ-21 Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

2.06.2025



Ю. Федунець