

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**

Михайленко Марини Артемівни

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

на тему Вибір та обґрунтування способів отримання  
активованого вугілля

*(повна назва теми)*

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

*(повна назва бази дослідження)*

Науковий керівник к.т.н., доцент

*(наук. ступінь, вчене звання)*



*(підпис)*

Десна Н.А.

*(прізвище, ініціали)*

**Робота допущена до захисту в ЕК**

Протокол засідання кафедри

від 13.06. 2025 р. № 16

Завідувач кафедри



*(підпис)*

*Наук. ступінь, вчене звання Ініціали, прізвище*

Кривий Ріг – 2025

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

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

Завідувач кафедри ЗАТВЕРДЖУЮ  
Хімічних технологій та інженерії  
Шмельцер К.О. доцент, к.т.н.  
(підпис) (посада, вчене звання, прізвище, ініціали)  
«2» червня 2023 року

### ЗАВДАННЯ

#### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Михайленко Марини Артемівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вибір та обґрунтування способів отримання активованого вугілля

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Десна Наталя Анатоліївна, к.т.н., доцент

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

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

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2025

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

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

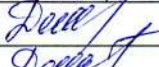
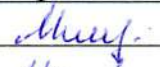

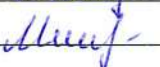
4.1 Аналітична частина: фізико-хімічні основи процесу активізації вугілля, вимоги до сировини для виробництва активованого вугілля, класифікація та фізико-хімічні основи способів активації вугілля, особливості технологічного оформлення процесу із застосуванням різних апаратів. Вивчення конструктивних параметрів устаткування та їх впливу на ефективність активації вугілля

4.2 Основна частина: Вибір та обґрунтування технологічної схеми активації вугілля. Вивчення хімізму процесу активації вугілля. Розрахунок устаткування за обраною схемою

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: вивчення основних шкідливих та небезпечних чинників роботи підприємства з виробництва активованого вугілля

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Завданням графічний матеріал не передбачений

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Десна Н.А., доцент		
2 Основна частина	Десна Н.А., доцент		

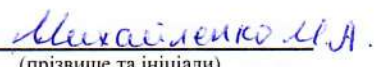
7. Дата видачі завдання «21» квітня 2025 р.

**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	02.06.25	
5.	Захист роботи в ЕК	18.06.25	

Здобувач

  
(підпис)

  
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

  
(підпис)

  
(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

Михайленко М.А. Вибір та обґрунтування способів отримання активованого вугілля. – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню можливості виробництва активованого вугілля з малометаморфізованого вугілля з додаванням відходів коксохімічного походження.

В випускній кваліфікаційній бакалаврській роботі розглянуті сучасні методи отримання активованого вугілля, проаналізовано їх переваги та недоліки в залежності від типу сировини та умов активації. Проведено порівняння фізичної, хімічної та комбінованої активації, а також обґрунтовано вибір оптимального способу з урахуванням технічних, економічних та екологічних чинників.

Проведений аналіз наявних методів виробництва активованого вугілля, вибір найефективнішого способу з врахуванням сировинної бази, економічної доцільності та екологічної безпеки, а також обґрунтування оптимальних технологічних параметрів процесу для одержання активованого вугілля з високими сорбційними властивостями.

Результати роботи можуть стати основою для подальших наукових досліджень у сфері вдосконалення технологій активації вуглецевих матеріалів, а також для розробки промислових технологічних процесів з виробництва активованого вугілля з покращеними сорбційними властивостями.

*Ключові слова:* активоване вугілля, активація, вугілля, сорбент, очищення.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1. Фізико-хімічні основи процесу активізації вугілля	9
1.2. Вимоги до сировини для виробництва активованого вугілля	11
1.3. Класифікація та фізико-хімічні основи способів активації вугілля	19
1.4. Особливості технологічного оформлення процесу із застосуванням різних апаратів.	25
1.4.1. Додаткові аспекти технологічного оформлення	30
1.5. Вивчення конструктивних параметрів устаткування та їх впливу на ефективність активації вугілля	32
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	34
2.1. Вибір та обґрунтування технологічної схеми активації вугілля	34
2.2. Вивчення хімізму процесу активації вугілля	37
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	46
3.1. Вивчення основних шкідливих та небезпечних чинників роботи підприємства з виробництва активованого вугілля	46
ВИСНОВКИ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49

## ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промисловості та екологічної стабільності активоване вугілля продовжує бути одним із найсуттєвіших сорбентів. Воно знайшло широке застосування у процесах очищення стічних вод з промислових джерел, а також морських вод, хімічній промисловості, медицині, харчовій галузі тощо. Крім цього, активоване вугілля використовується в газоочистці і для розділення та високоякісного очищення газових сумішей. Його особливі характеристики, такі як велика питома поверхня, складна пориста структура і хімічна незмінність, зумовлені специфікою активаційного процесу [1].

Згідно з глобальною статистикою, структура споживання активованого вугілля у світі виглядає наступним чином:

Таблиця 1.1

Споживання	%
Питне водопостачання	33,3
Очищення газів	25,0
Харчова промисловість	20,0
Інші споживачі	21,7

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1]

Велика частина споживання активованого вугілля зосереджена у сфері питної води. Це пояснюється тим, що в Україні хлорування, освітлення сульфатом алюмінію та фільтрація через піщані фільтри є поширеною технологією водопідготовки. Проте така схема очищення не забезпечує відповідного рівня підготовки води: у воді лишаються дисперсні домішки, хлорорганічні сполуки, пестициди та інші шкідливі речовини. Саме тому активоване вугілля активно використовується для доочищення води та покращення її якості.

З огляду на це, варто розвивати власні технології та системи активації вугілля в країні, щоб зменшити залежність від імпорту та забезпечити потреби у високоякісному сорбенті для водоочищення.

*Об'єкт розробки* – Вибір та обґрунтування способів отримання активованого вугілля

*Мета роботи* – аналіз наявних методів виробництва активованого вугілля, вибір найефективнішого способу з врахуванням сировинної бази, економічної доцільності та екологічної безпеки, а також обґрунтування оптимальних технологічних параметрів процесу для одержання активованого вугілля з високими сорбційними властивостями.

*Методи дослідження* – аналіз наукової літератури для вивчення сучасних методів отримання активованого вугілля, а також експериментальні та фізико-хімічні способи дослідження для оцінки якості отриманого продукту. Застосовано порівняльний аналіз та статистичну обробку даних з метою вибору найкращого способу активації.

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1. Фізико-хімічні основи процесу активізації вугілля

Процес активізації вугілля ґрунтується на перетворенні його фізичних та хімічних характеристик задля значного покращення адсорбційної здатності. В основі цього лежать термічні та хімічні зміни, у результаті яких початкова вуглецева сировина перетворюється на матеріал з надзвичайно розвиненою пористою структурою та великою питомою поверхнею.

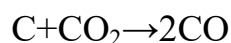
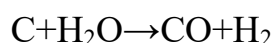
У процесі активізації вуглецю розгортаються два ключові процеси: створення пор та зміна поверхні. Створення пор сприяє розширенню доступної поверхні, що забезпечує ефективне вбирання речовин з газової або рідкої фази. Модифікація поверхні приводить до формування активних ділянок – функціональних груп (карбоксильних, гідроксильних, лактонних), які впливають на полярність поверхні, її кислотно-лужні властивості та здатність взаємодіяти хімічно з молекулами адсорбованих речовин [2].

При виборі вугілля як базової сировини для виробництва активованого вугілля, підготовчі етапи відіграють ключову роль. Серед них виокремлюються термоокислення (обробка у повітряному середовищі при температурному режимі від 150 до 250°C) та насичення різноманітними сполуками як органічного, так і неорганічного походження. Зазначені процедури збільшують активність матеріалу, а також сприяють формуванню високорозвиненої пористої структури в кінцевому сорбційному матеріалі.

Проведені дослідження показали, що одночасне застосування термоокислення і попередньої обробки газового вугілля розчином КОН низької концентрації (0,1%) на етапі підготовки дає змогу зменшити час його активізації паром води при температурі 800°C всього до однієї години. Цей метод суттєво підвищує ефективність технологічного процесу та допомагає знизити споживання енергії.

Активізація вугілля поділяється на два основні типи – фізична та хімічна.

Фізична активація базується на двофазному тепловому впливі на вихідний матеріал. На першому етапі відбувається карбонізація, або піроліз, за температур від 400 до 600 °С в атмосфері, що не реагує. Це забезпечує видалення летких речовин та створення базової вуглецевої матриці. Другий етап – власне активація, що здійснюється при температурі 800–1000 °С через взаємодію твердого залишку з водяною паром, діоксидом вуглецю або обмеженою кількістю повітря. Відбуваються реакції наступного типу:



Відбувається часткове газифікаційне перетворення вуглецю, що зумовлює формування мікро- та мезопор. Це веде до суттєвого зростання питомої площі вугілля, досягаючи показників від 800 до 1500 м<sup>2</sup>/г [4].

Процес активації вугілля – це комплексна фізико-хімічна подія, яка включає термоліз, хімічну модифікацію та зміни у структурі матеріалу. Результат – це високоефективний сорбент з оптимізованою поровою структурою та поверхневою хімією, що підходить для різних цілей, включаючи очищення води та повітря, каталіз та накопичення енергії.

Хімічна активація полягає у взаємодії вихідної сировини з хімічними речовинами. Найчастіше використовують хлорид цинку (ZnCl<sub>2</sub>), фосфорну кислоту (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) або ж гідроксид калію (KOH), після чого матеріал піддають температурному впливу в діапазоні 400–600 °С. Ці реагенти сприяють зневодненню органічної речовини, пригнічують утворення смолистих сполук, та в результаті формують вуглецевий каркас з великою кількістю пор.

Ключовим наслідком активації стає утворення розвиненої, губчастої структури, яка складається з макропор (розміром понад 50 нм), мезопор (2–50 нм) та мікропор (менше 2 нм). Макропори діють як транспортні шляхи, мезопори полегшують проникнення молекул углиб структури, тоді як мікропори забезпечують головну адсорбційну здатність.

Окрім того, у процесі активації змінюється хімічний склад поверхні активованого вугілля: з'являються функціональні групи, здатні до кислотно-

основних, окисно-відновних або гідрофобно-гідрофільних взаємодій з молекулами адсорбованих речовин. Це обумовлює вибіркову здатність активованого вугілля до різних домішок у газах або рідинах.

У разі хімічного впливу, реагенти сприяють дегідратації та ароматизації вихідної сировини, що призводить до формування мікропор ще до активного піролізу. Як наслідок — отримання сорбенту з питомою площею поверхні 800–2500 м<sup>2</sup>/г та вибірковою хімічною активністю.

## **1.2. Вимоги до сировини для виробництва активованого вугілля**

Як сировину для виготовлення активованого вугілля використовують деревину, вугілля, торф, кам'яне та буре вугілля, плюс відходи рослинництва [1].

Найбільш перспективна сировина для виробництва активованого вугілля – вугілля, конкретніше, буре і довгополум'яне. Напівкокси та кокси, отримані з бурого вугілля, через свою пористу структуру, можуть бути використані як чудові адсорбенти. Найчастіше їх застосовують як бюджетні сорбенти для одноразового використання, для очищення стічних вод. Процес активації таких матеріалів переважно відбувається в печах з обертанням та ланцюговими решітками. В результаті отримується активоване вугілля з високим ступенем пористості, але з недостатньою механічною міцністю.

Як і при роботі з довгополум'яним вугіллям, при створенні активованого вугілля з газового спостерігаємо збільшення зольності у 2,8 рази та зменшення вмісту сірки на 21%. Ці зміни властиві для процесів активації та вказують на активне вилучення летких домішок і перебудову структури матеріалу.

За майже рівних величинах обгару (31–32%) активоване вугілля, вироблене з газового вугілля, має незначно більшу насипну щільність і, за умови належної механічної міцності, не тільки не відстає, але й перевершує

активоване вугілля з довгополум'яного вугілля за параметром статичної активності відносно толуолу.

Отримані дані експериментів дозволяють розглядати вугілля Західного Донбасу, яке містить більше хлору та сполук натрію, як перспективну базу для виробництва активованого вугілля. Хоча склад цього вугілля специфічний, воно показує позитивні технологічні властивості і може бути успішно залучене в процесах активації [1].

Таблиця 1.2

### Значення пайової участі мікро-, мезо- та макропор

Марка та група вуглів по ГОСТ 25543-88	Доля в загальному обсязі пор, %		
	$V_{ми}$	$V_{ме}$	$V_{ма}$
Д	33,6	31,4	35
2Г	43,3	13,2	43,5
1Ж	27,4	7,9	64,7
1К	33,6	6,9	59,5
2СС (обгар 60%)	59	15	26

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1]

З аналізу наведених табличних даних випливає, що найліпше для активації вугілля підходять слабоспівливі сорти, у зв'язку з чим їх раціонально застосовувати у виробництві активованого вугілля, що потім використовується для очищення води, призначеної для пиття. Натомість, вугілля з високим ступенем співливісті, на кшталт коксівного та жирного, не є придатним для активації, адже в процесі не забезпечує необхідної пористості та сорбційних характеристик. Отже, їх доцільно використовувати у виробництві коксу.

Антрацити теж використовуються як вихідна сировина для виготовлення активованого вугілля. Цей різновид вугілля, включно з термоантрацитом, має добре розвинену мікропористу структуру майже без макропор. Через низьку реакційну здатність процес активації антрациту, як

правило, відбувається в умовах псевдозрідженого ("киплячого") шару. Отримане активоване вугілля відзначається високими сорбційними властивостями та ефективно використовується для очищення питної та стічної води [10].

Одним з найчастіше використовуваних видів сировини для виробництва активованого вугілля є слабоспільне вугілля. З нього здобувають сорбент шляхом термічного впливу (карбонізації) за температур від 600 до 950°C з подальшою активацією за допомогою парогазового оточення.

Ще одним важливим джерелом для виготовлення активованого вугілля слугує торф. У такому випадку активації піддають напівкокс, попередньо карбонізований при 600°C, обробляючи його парогазовою сумішшю за температури 900–950°C.

Якість активованого вугілля великою мірою залежить від характеристик вихідного матеріалу, що використовується для його отримання. Сировина має відповідати певним фізико-хімічним критеріям, адже саме її будова, кількість летких компонентів, вміст золи та інші властивості зумовлюють здатність до формування розвиненої пористої структури після активації [1].

До ключових вимог, які висуваються до сировини для виробництва активованого вугілля, відносяться:

- Стабільність структури;
- Високий вміст вуглицю;
- Низький вміст мінеральних включень;
- Сприятливий пористий потенціал;
- Оптимальний вихід летких речовин;
- Доступність та економічність;
- Однорідність.

Тож більш докладно розглянемо кожен з них.

1. Стабільність структури сировини при термічній обробці

Однією з ключових характеристик сировини, призначеної для виготовлення активованого вугілля, є її теплова стійкість. Під час активації, особливо фізичної, з використанням пари чи газу, температура може досягати 800–1000°C. За таких умов сировина зобов'язана зберегти свою базову структуру, не зазнаючи значного розкладу, спучування чи плавлення.

Нестабільна сировина при таких температурних показниках може втратити первинну форму, руйнуватися або утворювати неконтрольовану макропористу структуру. Це, в свою чергу, негативно впливає на міцність та сорбційну здатність кінцевого продукту. Також, надмірна деградація матеріалу створює труднощі в підтриманні стабільного технологічного процесу, що впливає на повторюваність результатів і якість виробництва [7].

Сировинні матеріали, що витримують високі температури, дають змогу формувати рівномірну структуру пір у процесі активації, гарантуючи значну питому поверхню, чітко визначений розподіл пор за розмірами та ефективну адсорбцію. З цієї причини перевірка термостійкості є критичним кроком при виборі сировини для використання у виробництві.

## 2. Високий вміст елементарного вуглецю

Вуглець є наріжним каменем у структурі активованого вугілля, відтак варто прагнути, аби частка чистого вуглецю в сировині переважала 70%. Що більша його концентрація — то більше твердого карбонового залишку отримуємо після карбонізації. Це, зрештою, дає змогу економити на сировині та підвищує прибутковість виробництва.

Окрім цього, високий вміст вуглецю відіграє ключову роль у формуванні розгалуженої пористої структури в ході активації. Це забезпечує значну питому поверхню та відмінні адсорбційні характеристики кінцевого продукту. Натомість, сировина з невисоким вмістом вуглецю, створює передумови для виділення більшої кількості летких речовин і зменшення кількості власне активованого вугілля, що робить її менш ефективною для активації. Тому під час вибору сировини критично важливо звертати увагу на

її елементний склад, зокрема на співвідношення вуглецю, водню, кисню та золи, адже саме ці параметри визначають якість кінцевого виробу.

### 3. Низький вміст золи (неорганічних домішок)

Зольність – це ключова характеристика при підборі сировинних матеріалів для виробництва активованого вугілля. Доцільно, щоб вміст золи не перебільшував 10%, а задля виробництва високоякісного активованого вугілля – цей параметр має бути менше 5%. Зольні компоненти, у складі яких домінують оксиди металів (наприклад, силіцій, алюміній, залізо, кальцій і магній), не приймають участь в активації й можуть блокувати мікро- та мезопори. Це призводить до зниження питомої поверхні й зменшення адсорбційної здатності фінального продукту [1,7].

До того ж, надмірна зольність може негативно позначитися на технологічному процесі: спричинювати зношення реакторів, печей та інших агрегатів внаслідок абразивного ефекту, а також ускладнювати процес регенерації активованого вугілля через утворення шлакових відкладень. Крім того, надлишок золи може провокувати виникнення небажаних хімічних сполук при підвищених температурах, що погіршує хімічну стабільність продукту [8].

Отже, низька кількість золи в початковій сировині визначає успішність технологічного процесу, тривалість служби обладнання та кінцеву якість активованого вугілля.

### 4. Сприятливий пористо-структурний потенціал

Структурні особливості вихідного матеріалу відіграють першочергову роль у визначенні пористості активованого вугілля. Щоб активація пройшла успішно, необхідно, аби сировина вже мала природну пористу або волокнисту організацію, що суттєво спрощує процес утворення мікро- та мезопор протягом карбонізації та активації. Порова структура безпосередньо впливає на величину питомої поверхні, сорбційну здатність та можливість доступу до пор для молекул адсорбату.

Вихідні матеріали з тонковолокнистою або клітинною структурою, такі як деревина листяних порід (дуб, бук), шкаралупа кокоса або лушпиння насіння (наприклад, соняшникового), демонструють високий потенціал для створення розгалуженої порової системи з добре розвиненою поверхнею. Кам'яне та буре вугілля, а також торф також здатні слугувати ефективною сировиною, якщо забезпечено належну підготовку та суворе дотримання технологічних вимог.

Завдяки наявності пористої структури такого типу, гарантується не тільки великий вихід активованого вугілля, але й утворення різноманітних пор за їх розміром (мікро-, мезо- та макропори). Це відкриває можливості для використання кінцевого продукту в багатьох галузях: очищення води, повітря, у каталізі, медицині та інших [10].

Отже, підбір вихідної сировини з ідеальною морфологічною структурою виступає ключовим фактором для виробництва високоякісного активованого вугілля, яке буде відповідати необхідним фізико-хімічним властивостям.

#### 5. Низький вміст летких речовин

Вміст летючих сполук у вихідному матеріалі має ключове значення для процесу карбонізації та створення пористої структури активованого вугілля. Найкращий рівень летких речовин рекомендується в діапазоні 15–25%. Це співвідношення гарантує контрольоване газоутворення, що сприяє формуванню мікро- та мезопор, не порушуючи при цьому основну структуру вуглецевої матриці.

Забгато летких речовин (понад 30%) може викликати інтенсивне виділення газів під час термічної обробки, приводячи до надмірного спінювання або розширення матеріалу. У свою чергу, це призводить до руйнування первинної структури, зменшення механічної міцності гранул та формування в основному макропористої структури, яка менш ефективна з погляду адсорбції. Також, високий вміст летких речовин знижує вихід

твердого залишку після карбонізації, що негативно впливає на загальну прибутковість процесу.

З іншого боку, надмірно низька кількість летких сполук здатна також створювати проблеми, адже це ускладнює процес активації через недостатній розвиток пористої структури. Отже, підтримання оптимального рівня летких речовин виступає ключовим фактором для гарантування високоякісного та ефективного виробництва активованого вугілля.

#### 6. Доступність та економічність

Однією з центральних потреб до сировини для виготовлення активованого вугілля є її наявність та вигідність використання. Сировина має бути широкодоступною, мати невисоку ціну, зручність транспортування та обробки, а також не становити загрози для довкілля. Використання дешевої або відновлюваної сировини дає змогу зменшити загальну вартість продукції, що надзвичайно важливо при масовому виробництві [3,6].

У зв'язку з цим широкого розповсюдження набули відходи сільського господарства (лушпиння насіння, шкаралупа кокосового горіха, волоського горіха, фінікового горіха, солома), відходи деревообробної промисловості (тирса, тріска, кора) та вуглецеві відходи промислових процесів (коксівий дріб'язок, лігнін, шлами). Ці види сировини є не тільки економічно привабливими, а й сприяють утилізації відходів, що знижує тиск на навколишнє середовище та узгоджується із засадами сталого розвитку.

До того ж, застосування місцевої сировини сприяє зменшенню логістичних видатків та залежності від закордонних поставок, одночасно відкриваючи перспективи для розширення місцевих підприємств. Отже, обрання доступної та економічно вигідної сировини виступає стратегічним чинником для гарантування результативності та екологічної збалансованості виробництва активованого вугілля.

#### 7. Однорідність та можливість формування

Якість активованого вугілля напряму залежить від фізико-хімічної стабільності первинного матеріалу. Суттєво, аби сировина демонструвала

стабільний та однорідний елементний склад, збалансовану кількість вологи, золи та летючих компонентів. Така однорідність гарантує передбачуваність карбонізації та активації, що зрештою дає можливість отримувати вугілля з властивостями, які можливо контролювати — скажімо, з тотожними параметрами пористості, питомої площі та адсорбційної здатності.

Окрім того, відповідність сировини для подрібнення, гранулювання або пресування становить важливу техніко-технологічну необхідність. Створення гранул чи брикетів з попередньо обробленої маси гарантує рівномірне розповсюдження тепла та газів в процесі активації, запобігаючи локальному перегріву чи недостатній обробці. Такий підхід сприяє виробництву продукції з точно визначеною формою та розміром, що є ключовим фактором для деяких галузей застосування (наприклад, у фільтрах або адсорберах із фіксованим шаром) [4,5].

Отже, однорідність сировини та її здатність набувати форми – ключові чинники стабільності виробництва та отримання кінцевого продукту найвищої якості.

Ідеальна сировина для виготовлення активованого вугілля, таким чином, має містити багато вуглецю, мало золи, помірну кількість летких компонентів, бути добре пористою та організованою структурно, а також бути доступною, економічною та екологічно чистою. Додаткові плюси – однорідний хімічний склад та здатність формуватися в гранули або дрібнодисперсну фазу, що значно полегшує управління технологічним процесом.

Забезпечення відповідності вказаним вище критеріям щодо сировинних матеріалів сприяє стабільному виробничому процесу. Це дозволяє досягати відмінних показників якості кінцевого активованого вугілля, включаючи його здатність до адсорбції, механічну міцність та стійкість до термохімічних впливів. Ці характеристики є надзвичайно важливими для його використання у різних галузях, таких як промисловість, екологія, медицина та повсякденне життя.

Таблиця 1.3

**Ключові вимоги, які висуваються до сировини для виробництва активованого вугілля**

Показник	Рекомендоване значення
Стабільність структури при термічній обробці	Витримує 800–1000 °С без значного руйнування
Вміст елементарного вуглецю	> 70%
Вміст золи (неорганічних домішок)	≤ 10%, бажано < 5%
Пористо-структурний потенціал	Природна пориста або волокниста структура
Вміст летких речовин	15–25%
Доступність та економічність	Висока — поширене, недороге
Однорідність та можливість формування	Однорідна структура, придатне до подрібнення і пресування
Вологість	Не більше 10–12%

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1]

### 1.3. Класифікація та фізико-хімічні основи способів активації вугілля

Активація – це процес термічної обробки вуглецевих матеріалів у середовищі окиснювальних газів, зокрема, кисню, водяної пари чи вуглекислого газу. Ключові чинники цього процесу – температура й тип активатора. Як підкреслюють Єлчин В.І. та Гуржиянц В.М., щоб дійти до оптимального температурного режиму активації газоподібним реагентом, необхідно враховувати умови внутрішньокінетичного режиму реакції, що

відбувається на поверхні мікро- та мезопор матеріалу. Під час активації пори "відкриваються" — відбувається очищення їхньої поверхні. Це дозволяє не тільки збільшити об'єм і кількість пор, а й змінити їхню структуру та властивості [6,13].

Активацію можна класифікувати на: фізичну (газову), хімічну, а також комбіновану.

#### 1. Фізична (газова) активація

Фізична активація передбачає термічну обробку вуглецевмісної сировини у присутності реагентів-окислювачів, як-от: водяна пара ( $H_2O$ ), кисень ( $O_2$ ) або вуглекислий газ ( $CO_2$ ). Цей процес виконується при значних температурах, здебільшого в межах 700–1000 °С, що дає змогу сформувати надзвичайно розгалужену пористу структуру матеріалу.

Головна мета фізичної активації полягає в частковому окисненні поверхні вуглецю, що супроводжується вилученням летких складових, органічних забруднень та відкриттям порової системи. Внаслідок цього відбувається "випалювання" і очищення мікро- та мезопор, що значно збільшує загальну питому площу активованого вугілля та поліпшує його адсорбційні властивості.

Фізичне активування не потребує застосування хімічних речовин, що робить цей спосіб дружнім до природи та безпечним для екології. Більше того, воно дає можливість зберегти хімічний склад вуглецю без значних змін його структури, забезпечуючи стійкість кінцевого продукту.

Процес фізичної активації відбувається у два ключові етапи:

Карбонізація – термічна обробка вихідної сировини в умовах відсутності кисню або слабого окиснення. Мета цього процесу полягає у видаленні летючих речовин та формуванні початкової пористої структури.

Активізація – це обробка вуглецевого матеріалу в умовах дії активуючого газу (водяної пари, кисню або вуглекислого газу). У взаємодії з поверхневими атомами вуглецю газ утворює газоподібні речовини ( $CO$ ,  $CO_2$ ).

У результаті цього процесу формуються нові пори та збільшується площа поверхні.

Параметри фізичної активації, зокрема температура, тривалість обробки, склад і тиск активуючого газу, відіграють вирішальну роль у формуванні структури та властивостей отриманого продукту. Так, підвищення температури і збільшення часу активації сприяє глибшому розвитку пористої структури, хоча може супроводжуватися зменшенням механічної міцності вугілля [3,9].

Фізична активація широко застосовується у промислових процесах для виготовлення активованого вугілля. Це матеріал знаходить широке застосування у сфері очищення води, фільтрації повітря, медичній практиці, харчовій промисловості та в інших секторах, де важливі відмінні сорбційні характеристики.

Отже, фізична активація представляє собою надійний, екологічно нейтральний та технологічно перевірений спосіб виробництва активованого вугілля. Вона забезпечує отримання матеріалу з розвиненою поровою структурою та винятковою адсорбційною здатністю.

## 2. Хімічна активація

Хімічна активація – це технологія, що застосовується для виробництва активованого вугілля. Вона полягає у взаємодії вихідного вуглецевого матеріалу з хімічними речовинами, відомими як активатори. На відміну від фізичної активації, де необхідне використання окислювальних газів та високих температур, хімічна активація реалізується при помірних температурах (400–700 °C) і за участі різних хімічних реагентів.

Основні активатори:

- 1) Фосфорна кислота ( $H_3PO_4$ ),
- 2) Калій гідроксид (KOH),
- 3) Хлорид заліза ( $FeCl_3$ ),
- 4) Хлорид алюмінію ( $AlCl_3$ ),
- 5) Сірчана кислота ( $H_2SO_4$ ),

б) Калій карбонат ( $K_2CO_3$ ).

Ці сполуки проникають у тканину вихідного матеріалу та прискорюють розклад під впливом температури, що сприяє формуванню пористої будови.

Хімічна активація проходить через такі ключові стадії:

1) Імпрегнування сировини активатором – сировину насичують розчином активатора, що забезпечує рівномірний розподіл реагенту по всьому об'єму матеріалу.

2) Сушіння та термічна обробка – імпрегнований матеріал піддають нагріванню в безкисневому середовищі або при обмеженому доступі повітря до температури 400–700 °С. В процесі цього відбуваються хімічні реакції між активатором та вуглецевим матеріалом, що зумовлює розкладання органічних речовин, видалення летких складових та утворення пористої структури.

3) Промивання та очищення – після активації продукт ретельно промивають, щоб позбутися залишків активатора та сторонніх речовин. Це критичний етап, який гарантує безпеку та високу якість кінцевого активованого вугілля.

Переваги хімічної активації:

Найбільша питома поверхня – у порівнянні з фізичним способом активації, хімічний метод дає змогу одержувати матеріали з розвиненішими порами та значно більшою питомою поверхнею [6,14].

Контроль пористості: ця техніка передбачає можливість управління величиною і об'ємом порів шляхом підбору активатора та налаштування технологічних умов.

Зменшення температури активації: на відміну від фізичної активації, процес проходить при знижених температурах, що сприяє енергозбереженню.

Здатність застосовувати різноманітні матеріали – відходи рослинництва й тваринництва, кам'яне та буре вугілля та інші.

Недоліки та нюанси:

Потреба у додатковому ополіскуванні – на відміну від фізичного впливу, використання продукту передбачає ретельне промивання, аби позбавитись залишків хімічних речовин.

Витрати на реагенти та утилізацію відходів – застосування активаторів збільшує загальні витрати виробництва та може вимагати додаткових заходів для забезпечення екологічної безпеки.

Імовірний вплив на довкілля – неналежне поводження з хімікатами здатне заподіяти шкоду навколишньому середовищу.

### Застосування

Активоване вугілля, здобуте методом хімічної активації, знаходить широке застосування в очищенні води й повітря від органічних та неорганічних забруднювачів, в медичній галузі (адсорбенти для лікування отруєнь), харчовій промисловості (усунення домішок і смакових вад), промисловій хімії (каталізатори та сорбенти) [6,14].

Отже, хімічна активація є дієвим способом для виробництва активованого вугілля з великою пористістю та здатністю до сорбції, що за умови коректного технологічного процесу гарантує високу якість кінцевого матеріалу.

### 3. Комбінована активація

Комбінована активація – це процес створення активованого вугілля, що поєднує в собі риси фізичної та хімічної активації. Даний метод передбачає поєднане або одночасне використання термічної обробки у присутності активуючих газів (водяна пара, кисень, вуглекислий газ) та обробку хімічними реагентами (активаторами), що дозволяє найбільшою мірою розкрити пористу структуру матеріалу [10].

Основні особливості комбінованої активації:

Злиття переваг двох технік: фізична активація дає теплове розкриття і формування пор, а хімічна – прискорює реакції розкладу та покращує структуру виробу.

Збільшена пористість: внаслідок впливу фізичних та хімічних процесів активоване вугілля характеризується більш розгалуженою поровою структурою з оптимальним розподілом мікро-, мезо- та макропор.

Підвищені сорбційні властивості: комбінована активація забезпечує отримання матеріалів з покращеними адсорбційними характеристиками та стійкістю.

Комбінована активація, як правило, відбувається у кілька фаз:

Попередня хімічна обробка вихідної сировини активаторами задля просочення та проникнення реагентів у структуру матеріалу.

Термічна активація в умовах окислювальних газів при великій температурі, що сприяє розширенню пор і наступному формуванню характеристик структури.

Промивання та стабілізація отриманого матеріалу – усунення залишків хімічних речовин та підготовка матеріалу до практичного застосування.

Переваги комбінованої активації: забезпечує більш прецизійний контроль над розподілом пір за розміром, що є ключовим. Дозволяє синтезувати активоване вугілля з рекордно високою питомою поверхнею, а також оптимальною структурою. Сприяє покращенню технологічних характеристик та кінцевої якості продукту загалом [6,10,13].

Негативні сторони цього підходу: сам технологічний процес більш комплексний, що потребує дуже ретельного моніторингу всіх параметрів. Витрати на енергоносії та реагенти можуть бути вищими, порівняно з використанням окремих методів активації. Окрім цього, виникає необхідність додаткової обробки для видалення хімічних залишків.

Комбінована активація представляє собою перспективний напрямок у виготовленні активованого вугілля, дозволяючи досягти максимальної оптимізації пористої структури матеріалу та покращити його сорбційні характеристики для різноманітних галузей використання [3].

#### 1.4. Особливості технологічного оформлення процесу із застосуванням різних апаратів

Процес активації вугілля – це багатоаспектна та складна технічна операція, що вимагає ретельного підбору та налаштування обладнання, спроможного створити потрібні фізико-хімічні умови для належного формування пористої структури [1]. Технологічна реалізація процесу охоплює вибір, проектування та інтеграцію різноманітних типів устаткування, яке відповідає особливостям сировини, режимам активації, обсягам виробництва та стандартам якості кінцевого виробу [4,5].

Розглянемо різновиди апаратів для активації та їхні характерні риси.

##### 1. Реактори з нерухомим шаром –

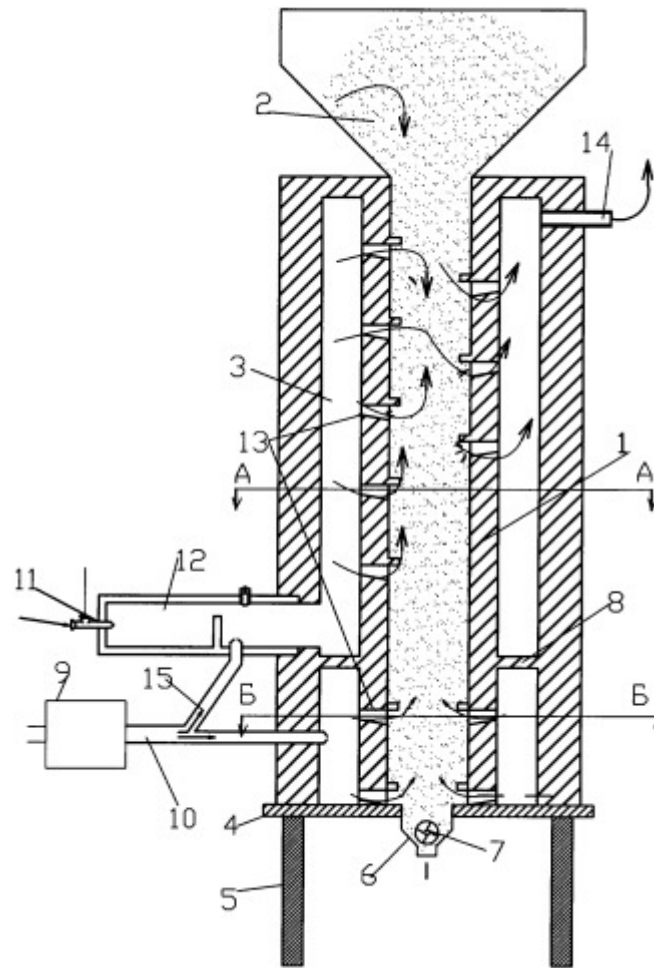
Один з найпростіших різновидів устаткування, що застосовуються задля активації вугілля – це реактори з нерухомим шаром. Вихідна сировина розміщується у вигляді нерухомого шару, через котрий здійснюється пропускання потоку активуючого газу.

Конструктивні особливості устаткування включають: вертикальні або горизонтальні печі, які обладнані системами подачі газів та нагрівання.

Як приклад, розглянемо запатентовану піч для активації деревного вугілля з данним принципом роботи (Рис. 1.1).

Піч для активації деревного вугілля складається з реактора 1 та пристрою 2 для завантаження вугілля. Реактор 1 сконструйований у вигляді вертикальної шахти, збудованої з жаростійкого матеріалу, зокрема шамотної цегли марки ША-5. Цей реактор 1 розміщено у нагрівальній камері 3, що виготовлена з такого ж матеріалу, та зовні укрита теплоізоляційною оболонкою з базальтового волокна (оболонка схематично не показана). Піч розміщена на платформі, що складається з плити 4, виготовленої з вогнетривкого бетону, встановленої на залізобетонних стояках 5. Внизу реактора 1 розташовано пристрій 6 для вивантаження кінцевого продукту - активованого вугілля, оснащений затвором 7. Нагрівальна камера 3 ділиться

на 8 та на висоті перегородкою. Джерело 9 постачання водяної пари з'єднано трубопроводом 10 з нижньою частиною нагрівальної камери 3 [5].



**Рис. 1.1. Піч для активації вугілля з нерухомим шаром сировини:**

1-реактор, 2-пристрій для завантаження, 3-нагрівальна камера, 4-плита з вогнетривкого матеріалу, 5-залізобетонні стійки, 6-пристрій для вивантаження активованого вугілля, 7-затвор, 8-перегородка в нагрівальній камері, 9-джерело подачі водяної пари, 10-Магістраль подачі водяної пари, 11-пальник, 12-камера згоряння, 13-отвори, газовідвідна труба, 15-магістраль до камери згоряння.

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [5]

Пристрій для спалювання вуглеводневого палива, зокрема природного газу, - це пальник 11. Пальник 11, в конкретному варіанті виконання, розміщений в камері 12 згоряння, що сполучається з камерою; пальник 11

може бути змонтований безпосередньо у стінку камери 3. Крізь стінки реактора 1 виконані наскрізні отвори 13, які сполучають нагрівальну камеру 3 з порожниною реактора 1. У верхній частині камери передбачена газовідвідна труба 14. Джерело 9 подачі водяної пари з'єднано з трубопроводом.

Обладнання працює наступним чином.

Підготовлене та фракціоноване деревне вугілля подається у пристрій 2 для завантаження. У пальник 11 подається природний газ та повітря, які змішуються та згоряють у камері 12 згоряння. Продукти згоряння з температурою 850-900°C, що включають водяну пару і та двоокис вуглецю, переміщуються у верхню зону нагрівальної камери 3 та крізь отвори 13 потрапляють у внутрішній простір реактора 1. В процесі цього вони проходять через деревне вугілля, що знаходиться всередині реактора 1, нагріваючи його до температури 800-85°C, активуючи таким чином деревне вугілля. Далі водяна пара і CO<sub>2</sub> проходять через отвори 13 у протилежній стіні реактора 1, переходячи у верхню частину нагрівальної камери 3. Від джерела 9 подачі водяної пари, наприклад парового колектора, по магістралі 10 насичена водяна пара, температура якої близько 105°C, надходить до нижньої частини камери 1, охолоджуючи вугілля в її нижній секції перед розвантаженням. При цьому водяна пара нагрівається до температури 650-700°C, рухається вгору та змішується з газами у верхній частині реактора, збагачуючи їх склад. Активоване вугілля виводиться через пристрій 6 для розвантаження з затвором 7 [5].

Для зниження температури продуктів горіння до необхідних 850-900°, в камеру 12 згоряння подається водяна пара з джерела 9.

Переваги: простота виготовлення й використання, помірні капіталовкладення.

Недоліки: під час активації виникають температурні перепади, через які в певних місцях матеріал перегрівається або прогрівається недостатньо, що спричиняє неоднорідну пористу структуру активованого вугілля. Немає руху сировини, що ускладнює забезпечення рівномірності процесу.

Сфера використання: лабораторні випробування, малі виробництва, де не критична висока продуктивність.

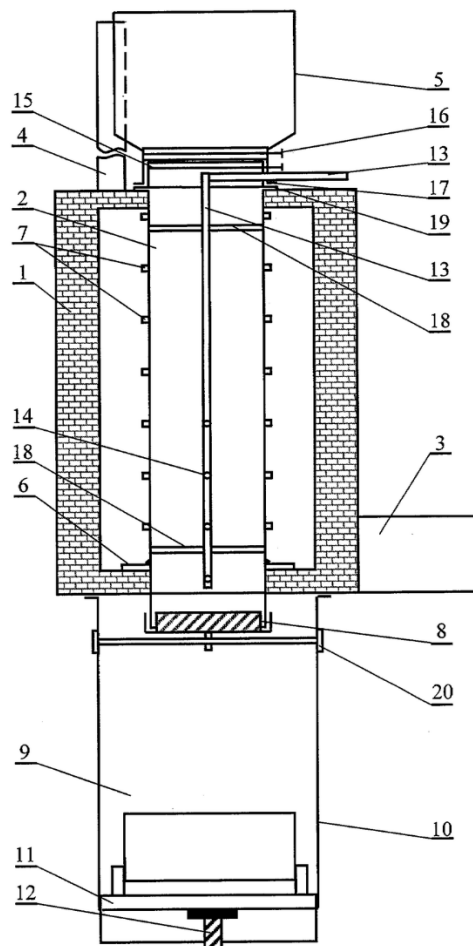
Цей тип печей з верхнім завантаженням карбонізату та подачею водяної пари знизу, що повільно проходить через засипку, застосовується для активації карбонізату, отриманого з газового та довгополуменевого вугілля. Така схема забезпечує рівномірний нагрів матеріалу та ефективне формування пористої структури.

## 2. Реактори з псевдозрідженим шаром

Псевдозріджений шар утворюється через подачу активного газу знизу зі швидкістю, яка змушує частинки сировини рухатися вгору та перемішуватися, демонструючи подібну до рідини поведінку.

Конструктивні риси приладу: вертикальне колонне компонування із системою розподілу газоподібної речовини.

Для прикладу розглянемо вертикальну піч для отримання ативованого вугілля (Рис. 1.2) [4].



### Рис 1.2 Вертикальна піч для отримання активованого вугілля:

1-нагрівальна піч; 2-металева реторта; 3-топка-пальник; 4-димова труба; 5-завантажувальний бункер; 6-нижній фланець реторти; 7-штуцера для відведення з реторти в піч продуктів піролізу; 8–поворотний люк для випуску активного вугілля з камери; 9-вагонетка для розвантаження активного вугілля; 10-шлюз; 11-майданчик для вагонетки; 12-витяг; 13-труба для подачі пари; 14-отвори в трубі для подачі пари в реторту; 15-шибер печі; 16-шибер завантажувального бункера; 17-фланець завантажувального бункера; 18-хрестовини, що фіксують трубу для підведення пари; 19-верхній фланець реторти

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [4]

**Переваги:** відсутнє вдосконалення теплового та масопереносу, однорідне нагрівання та активація сировини, наявність керування режимами роботи.

**Недоліки:** інтенсивне перемішування компонентів запобігає формуванню зон перегріву, а активатор ефективніше потрапляє всередину пор, забезпечуючи глибинну активацію [2]. Проте, висока швидкість газового потоку може спричиняти деформацію часточок та утворення пилу, що зумовлює необхідність обладнання фільтрувальними системами.

### 3. Обертові печі (барабанні реактори)

Ці апарати зводяться до циліндра, що обертається, що забезпечує перемішування матеріалу та сприяє рівномірній термічній обробці [1].

**Конструктивні риси устаткування:** ротор, що обертається, та нагрівається від зовнішнього або внутрішнього джерела тепла, система введення активаційних газів.

**Плюси:** рівномірна обробка матеріалу, велика продуктивність, забезпечення безперервного процесу виробництва. Технологічні переваги пов'язані з усуненням зон застою матеріалу через його рух, що збільшує

ефективність процесу активації та дає можливість одержувати продукт зі сталими фізико-хімічними показниками.

Недоліки: важкість утримати потрібну газову атмосферу, значні видатки на функціонування, прискорене зношення механізмів.

Сфера використання: масове промислове виготовлення, коли важливими є відмінна якість та одноманітність продукції [1].

#### 4. Печі з рухомим шаром (тунельні, конвеєрні)

Ці печі функціонують, переміщуючи матеріал крізь нагрівальну зону. Для цього використовуються конвеєрні стрічки або роликові механізми, що забезпечують безперервне транспортування.

Переваги: безперервність операцій, вражаюча продуктивність, варіативність регулювання тривалості взаємодії матеріалу з активатором. Технічний потенціал подібного обладнання криється у легкості інтеграції в наявні автоматизовані виробництва, що значно полегшує організацію виробничого циклу. Це дозволяє оптимізувати логістику, збільшити випуск продукції, а також суттєво зменшити потребу у ручній праці, що, як наслідок, скорочує операційні витрати і підвищує загальну ефективність виробництва. Додатково, автоматизація процесів сприяє покращенню контролю якості та стабільності кінцевого виробу.

Недоліки: ускладненість забезпечення рівномірного прогріву та розподілу газів на значній площі, необхідність у періодичному технічному обслуговуванні.

Застосування: промислові підприємства, де обробляють велику кількість сировини, з фокусом на високу якість та стабільні характеристики кінцевого виробу.

#### **1.4.1. Додаткові аспекти технологічного оформлення**

Температурний діапазон є ключовим чинником активації. Оптимальна температура для різних типів вугілля та способів активації знаходиться в

межах від 600 до 1000 °С. Технологічне обладнання обладнане багатоточковими температурними датчиками та автоматичними системами контролю, що дозволяють утримувати температурний режим з точністю до  $\pm 5$  °С. Наявність температурних зон у великих реакторах вимагає використання спеціальних теплоізоляційних матеріалів та зонального регулювання нагрівання.

Активуючі гази (водяна пара, кисень, вуглекислий газ) вводяться у певних пропорціях для контролю швидкості окислювальних реакцій. Технологічні системи гарантують стабільність газової суміші, що є критичним для формування необхідної пористої структури та запобігання надмірному руйнуванню вугільного каркасу. В апаратах передбачені системи очищення газів від домішок та конденсатів [6].

Для гарантування сталості та безпеки виробництва технологічні лінії обладнуються сучасними автоматизованими системами керування (АСК), що здійснюють моніторинг параметрів процесу в режимі реального часу: температури, тиску, складу газів, швидкості подачі сировини. Вмонтовані системи аварійного відключення унеможливають виникнення аварійних станів (перегрів, витік газів).

З огляду на високу енергоємність процесу, велика увага зосереджується на енергоефективності. Використовуються системи рекуперації тепла від вихідних газів для підігріву сировини або активуючих газів, а також високоефективні теплоізоляційні матеріали. Окрім того, апарати проєктуються з урахуванням мінімізації викидів забруднюючих речовин і пилу, що сприяє дотриманню екологічних стандартів.

Вибір обладнання та параметрів технологічного процесу прямо впливає на якість та характеристики активованого вугілля, що визначає гранулометричний склад і об'єм пір різних типів (мікро-, мезо-, макропори), питому поверхню, механічну міцність і здатність чинити опір руйнуванню, а також адсорбційну здатність і селективність отриманого продукту. До того ж, від вибраної апаратури залежить ступінь чистоти активованого вугілля, а саме

вміст золи та залишків активаторів, вологість і гранулометричний склад кінцевого продукту.

### **1.5. Вивчення конструктивних параметрів устаткування та їх впливу на ефективність активації вугілля**

Ефективність процесу активації вугілля значною мірою визначається не тільки вибором технологічного підходу, але й конструктивними особливостями використаного обладнання. Ці параметри задають умови проходження теплообмінних та масообмінних процесів, рівномірність нагрівання, контакт активатора з вуглем, а також можливість управління основними технологічними режимами (температурою, швидкістю подачі сировини, об'ємом активуючого газу і т.д.) [6,15].

Серед ключових конструктивних особливостей, що впливають на кінцевий результат активації, можна виділити:

1. Геометричні параметри реактора (довжина, діаметр, корисний об'єм): задають час, протягом якого сировина знаходиться в зоні активації. Від цього залежить глибина її обробки, а також формування пористої структури кінцевого продукту.

2. Спосіб перемішування (роторне, псевдокипіння, конвеєрне пересування): впливає на ефективність розподілу тепла та газової фази, полегшуючи або ускладнюючи його. Це безпосередньо впливає на рівномірність кінцевого активованого вугілля.

3. Матеріал, з якого виготовлено внутрішні поверхні приладу, впливає на термостійкість, хімічну нейтральність і довговічність устаткування. Певні сплави здатні вступати в реакції з активаторами або виділяти небажані речовини.

4. Система подачі та розподілу активуючих газів є критичною для забезпечення рівномірної активації. Нерівномірне постачання газу веде до появи зон з недостатньою або надлишковою реакційною здатністю.

5. Наявність зонального чи секційного підігріву: забезпечує створення багатоступневих температурних режимів, що дає змогу тонко налаштувати процес, уникнути перегріву або руйнування сировини внаслідок впливу температур.

6. Можливість управління та автоматизації: впливає на сталість і відтворення технологічного процесу. Сучасні системи автоматичного контролю забезпечують підтримку технологічних параметрів з вузькими допусками, що сприятливо відбивається на якості кінцевого виробу.

Кожна модифікація чи пристосування обладнання неодмінно відбивається на властивостях кінцевого продукту: об'ємі мікро- та мезопор, специфічній поверхні, здатності до сорбції, механічній стійкості, кількості золи та інших параметрах. Скажімо, збільшення протяжності реакційної зони або швидкості обертання барабана здатне сприяти глибшій активації, але паралельно збільшує ймовірність руйнування частинок. У той же час, недосконала система подачі пари здатна зменшити результативність активації через нерівномірний розподіл температурних режимів [7,10].

Таким чином, дослідження та удосконалення конструктивних особливостей установок активації є обов'язковою умовою для забезпечення сталої якості активованого вугілля при мінімальних енерговитратах та витратах сировини. Це дозволяє коригувати технологічний процес у відповідності з різними типами сировини, обсягами виробництва та вимогами до кінцевого продукту.

## 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1. Вибір та обґрунтування технологічної схеми активації вугілля

Вибір технологічної схеми активації вугілля – один з найважливіших кроків у проектуванні виробництва активованого вугілля, адже саме вона диктує послідовність операцій, типи обладнання, витрати на енергію, час процесу, а також якість та властивості фінального продукту [3]. Підґрунтя для вибору технологічної схеми криється у фізико-хімічних властивостях сировини, бажаних характеристиках активованого вугілля, масштабах виробництва та економічних аспектах [1].

У межах дипломної роботи будемо використовувати як сировину буре газове та довгополум'яне вугілля з Донецького вугільного басейну, яке вирізняється високим вмістом вуглецю та хлору, невисокою зольністю та прийнятною термостійкістю. З огляду на це, доцільним є застосування фізичної активації з використанням водяної пари як активатора, адже вона дозволяє ефективно створювати пористу структуру без залучення хімічних реагентів.

У подальшому процесі отримання активованого вугілля з газового вугілля зольність збільшується в 2,8 рази, і сірчистість зменшується на 21%.

Як обладнання візьмемо шахну піч з верхнім завантаженням карбонізату і з нижньою подачею водяної пари.

Для збільшення однорідної якості активованого вугілля шахтні печі обладнують полицями, і вугілля, що лежить на них, перемішують спеціальними скребками, з'єднаними з вертикальним обертовим валом. Підвищення однорідної якості активованого вугілля, що досягається в цій печі, супроводжується збільшенням пилоутворення і пилоуносу внаслідок стирання чистильців, що взаємно переміщається.

В експериментальній роботі випробовували в дослідно-промислових умовах різні конструкції реторту прямокутної форми, в яких активували фракціонований карбонізат донецького довгопламенного вугілля (2-5 мм).

Завантажені реторти (30-50 кг) встановлювали в розігріту піч і після досягнення температури біля внутрішньої стінки реторти 750 °С подавали крутр водяну пару, який попередньо підігрівали в пристінних теплообмінниках. Активацію вели протягом 5-6 годин при температурі біля стінки 820-850 °С та у центрі 750-780 °С [4].

Випробовували три конструкції активаційних реторт:

- односекційну із завантаженням карбонізату насипом і нижнім підведенням пари
- трисекційну з розміщенням карбонізату шаром товщиною 120-140 мм на кожній секції та з нижнім підведенням пари
- односекційний із завантаженням карбонізату насипом і з двоплощинною подачею пари: знизу - в горизонтальну, а через перфоровані канали - у вертикальну осьову площину.

По завершенні активації реторту охолоджували без доступу повітря і вивантажували активоване вугілля пошарово (зверху вниз), причому з верхнього, середнього та нижнього шарів для визначення показників якості активованого вугілля відбирали по три представницькі проби: у торцевих стін, у бічних стін і в центрі шару.

Кожну з дев'яти відібраних проб при випробуванні тієї чи іншої конструкції активаційної реторти аналізували з визначенням трьох показників якості - зольності, насипної щільності та статичної активності по толуолу.

За отриманими дев'ятьма величинами розраховували середні арифметичні значення дисперсії:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

та коефіцієнтів варіації, кожного з прийнятих показників якості

$$R_i = \frac{\sigma_i \cdot 100}{\bar{x}_i}$$

Деякі зміни середніх значень прийнятих показників якості активованого вугілля обумовлені мінливістю властивостей вихідного вугілля, умовами карбонізації та активації при випробуванні різних ретортів.

У той же час показники коливання і R, значення яких набагато знижуються в ряду 1-2-3-я реторти, свідчать про те, що секціонування реторти і двоплощинна подача пара-активатора сприяють підвищенню однорідності якості активованого вугілля за показниками зольності, насипної щільності та статичної активності [4].

Обрана технологічна схема містить такі ключові етапи:

- Підготовка сировини: видалення домішок, подрібнення до необхідного розміру та сушіння. Цей етап важливий для гарантування рівномірного нагрівання та активації на подальших стадіях.
- Карбонізація: нагрівання вихідної сировини без доступу кисню, витримуючи температуру в межах 400–600°C. Результатом є створення початкової вуглецевої структури.
- Активація: обробка піролізного матеріалу за допомогою пари, пропускаючи її крізь сировину. Температурний діапазон при цьому складає 800–900°C. Процес відбувається у спеціальних печах: ротаційних або шахтних. На даному етапі формуються мікро- та мезопори, які напряму впливають на здатність вугілля адсорбувати.
- Охолодження: стрімке зведення температури виробу до необхідної безпечної позначки перед наступними етапами обробки й пакування.
- Фракціонування й доопрацювання: просіювання, очищення від пилу, імовірна імпрегнація чи модифікація для покращення конкретних характеристик (наприклад, здатності вибірково реагувати на певні забруднювачі).

- Пакування та зберігання виробленого матеріалу.

Завдяки цій методиці, виходить активоване вугілля зі структурою розвиненої пористості, значною питомою площею поверхні, гарними показниками міцності та малим вмістом золи. Перевага схеми полягає у відносній легкості впровадження, екологічній безпеці (відсутність хімічних реагентів), а також можливості безперервного процесу, за умови застосування ротаційних чи конвеєрних печей [4].

Окрім цього, запропонована модель легко піддається змінам. За потреби, її можна пристосувати для комплексного запуску або переходу на інші види сировини. Цей підхід дає можливість підтримувати стабільну якість виробів, одночасно мінімізуючи витрати на переналаштування технологічної лінії.

## **2.2. Вивчення хімізму процесу активації вугілля**

Хімічна сутність фізичного активування кам'яного вугілля криється у складних взаємодіях вуглецевої сировини з газовими сполуками за значних температур. Головна риса цього процесу полягає у регульованому окисненні вуглецю, під час якого відбувається часткове перетворення твердого вуглецю на газоподібні компоненти, що супроводжується формуванням пористої структури. Ці реакції відбуваються на межі поділу фаз, між твердим вуглецем та газоподібним активатором, та залежать від властивостей реагенту, температурного режиму, швидкості подачі газу та доступності активних центрів на поверхні матеріалу [6].

Як рідкі компоненти суміші використано вуглеводневі продукти КХЗ (ПАТ «Макіївкокс»). Відповідно до інформації від заводу, під час виробництва коксу до військових дій на сході України щорічно утворювалось 35000 – 40000 т кам'яновугільної смоли і до 1500 т рідких побічних продуктів, що склалися з фусів (65 – 67 %), кислої смолки (~ 30 %), полімерних й інших «відходів» (3

– 5 %) (табл.2.1.). Детальна якісна характеристика застосованих рідких продуктів КХВ наведено в роботі [7].

Таблиця 2.1

### Характеристика обраного вугілля

Зразок вугілля	Технічний аналіз, %			Елементний аналіз, %				
	W	A	V	C	H	S	N	O
Д	11,1	1,8	43,8	80	5,3	1	1,9	11,8
Г	2,9	2,7	35,6	83,5	5,2	0,9	1,7	8,7

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7]

Залежності міцності отриманого матеріалу, залежно від кількості введених вуглеводневих речовин КХВ для сумішей вугілля марок Д і Г (Рис. 2.2.). Вже на етапі приготування суміші проявляється нелінійний вплив на показник ефективної міцності, що свідчить про хімічну взаємодію між компонентами.

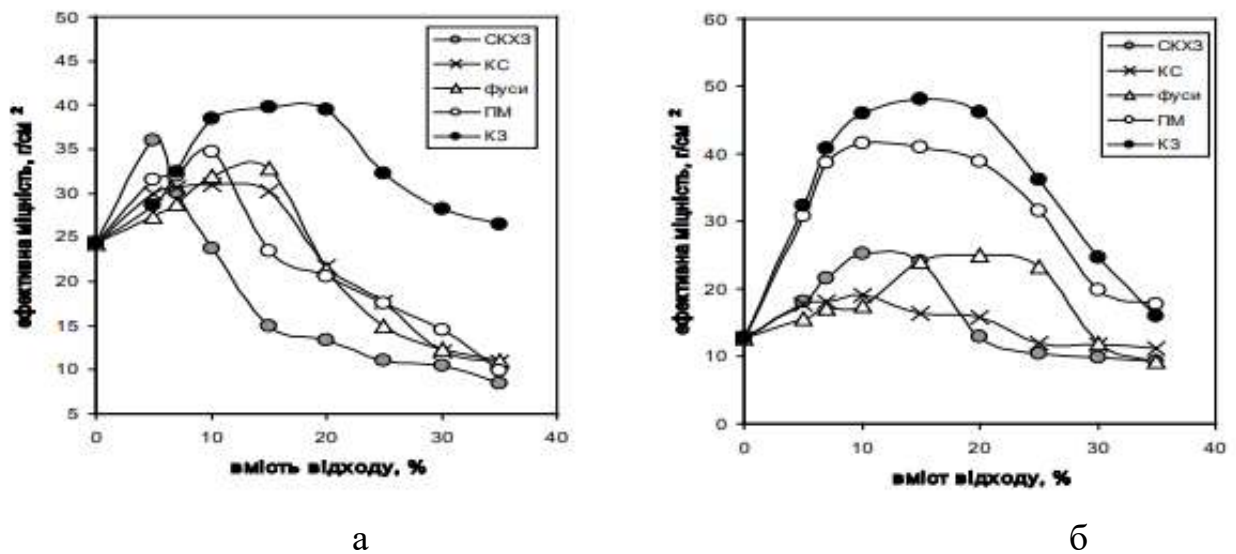
Таблиця 2.2

### Характеристика напівпродуктів КХВ

Параметр	Фуси (Ф)	Кисла смолка (КС)	Полімери (П)	Смола (СКХЗ)	Кубовий залишок (КЗ)
Зольність, %	6,4	0,2	0,1	0,1	5,2
H <sub>2</sub> O, %	10	23,7	1,6	2,2	-
C <sup>daf</sup> , %	88,6	75,9	86,6	91,4	-
H <sup>daf</sup> , %	5,5	4,9	5,3	5,5	-
S <sup>daf</sup> , %	1,5	4,7	4,1	0,9	4,9
O <sup>daf</sup> +N <sup>daf</sup> , %	4,4	14,5	4	2,2	-

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7]

Згідно з рис.2.1., найкращий результат досягається при змішуванні вугілля та рідких продуктів КХВ у співвідношенні  $10 \pm 5$  (для вугілля Г, за винятком КЗ) та  $15 \pm 5$  % (для вугілля Д). Саме цю концентрацію рідкої речовини можна вважати оптимальним для подальшого технологічного використання композиції. Така суміш зберігає свою структуру та не розсипається на повітрі. Важливо відзначити, що вплив різних типів рідких компонентів КХВ на ефективну міцність суміші може відрізнятись [7].



**Рис 2.1** Ефективна міцність сумішей, а -«вугілля Г – напівпродукт КХВ», б – «вугілля Д – напівпродукт КХВ»

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7]

Найбільш стійку «холодну» композицію з вугіллям обох марок утворює кубовий залишок. З твердим компонентом найменше взаємодіє кисла смолка через високий вміст кислотних компонентів та води (табл. 2.2).

Кількісну оцінку величини неадитивності (або синергетичний ефект) (табл. 2.3) для обох марок вугілля було отримано як різницю між експериментальними даними (у точці максимальної ефективної міцності при вмісті рідких компонентів 5 – 15 %) та ефективною міцністю, розрахованою за правилом адитивності. Очевидно, що величина синергетичного ефекту (13 - 16 відн од.) для газового вугілля майже не залежить від природи рідких

компонентів, тоді як для сумішей вугілля Д вона змінюється у широкому діапазоні значень (7 - 35). При цьому ступінь неадитивності синергетичного ефекту обернено пропорційна густині рідкого вуглеводневого продукту КХВ [7].



**Рис 2.2 Залежність ступеня неадитивності для сумішей «вугілля Д – напівпродукт КХВ» від густини рідких компонентів**

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7]

Таблиця 2.3.

**Характеристика вуглеводневих продуктів КХЗ і величини ефективної міцності**

Параметр	Фуци (Ф)	Кисла смолка (КС)	Полімери (П)	Смола (СКХЗ)	Кубовий залишок (КЗ)
Густина, г/см <sup>3</sup>	1,25	1,27	1,12	1,15	0,96
Зольність, %	6,4	6,4	0,1	0,1	5,2
Синергетичний ефект (СЕ), відн. Од.					
Суміш з вугіллям Д	12	4	27	16	35
Суміш з вугіллям Г	15	13	15	15	16

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7]

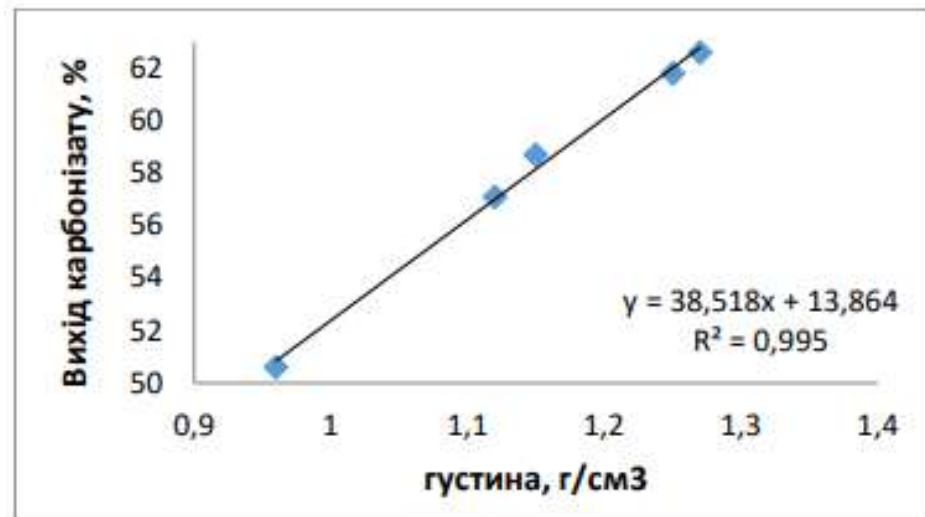
Спробуємо встановити фактори, які впливають на показники термічної конверсії, розглядаючи властивості сумішей та встановлені залежності. Об'єктами аналізу стали продукти термолізу композитів з найвищими показниками ефективної міцності.

Перший етап – термоліз вугілля та сумішей, що здійснювався у лабораторній установці зі стаціонарним шаром. Нагрівання зразка (80 г) проводили зі швидкістю 4,0 град/хв до температури карбонізації (400-700°C) з ізотермічним витримуванням протягом 0,5 год. Вихід карбонізату було розраховано на органічну масу суміші. Розбіжність результатів паралельних вимірювань виходів твердого залишку (карбонізату) не перевищувала  $\pm 0,7\%$  абсолютних.

З'ясовано, що вплив типу рідких компонентів на вихід карбонізату для газового вугілля майже ідентичний – зниження з 74% (без добавок) до  $67\pm 1\%$  для сумішей при 450 °C, та з 67% (без добавок) до  $63\pm 1\%$  для сумішей при температурі 700 °C. Суттєвіше зменшення виходу (до 60%) спричиняє лише додавання полімерів.

Іншу закономірність можна побачити розглядаючи суміші довгополум'яного вугілля. Виявлено чітку лінійну залежність між виходом карбонізату та густиною доданого в суміш продукту коксохімії (рис.2.3). Це також означає зворотну залежність виходу карбонізату від синергетичного ефекту вихідної суміші [7].

Отримані результати свідчать, що структурні характеристики вугілля, які зумовлені ступнем метаморфізму, а отже, з реакційною здатністю органічної маси, визначають і характеристики композицій на їхній основі.



**Рис 2.3 Вихід карбонізату (450°C) із сумішей з вугіллям Д від густини рідких компонентів.**

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7]

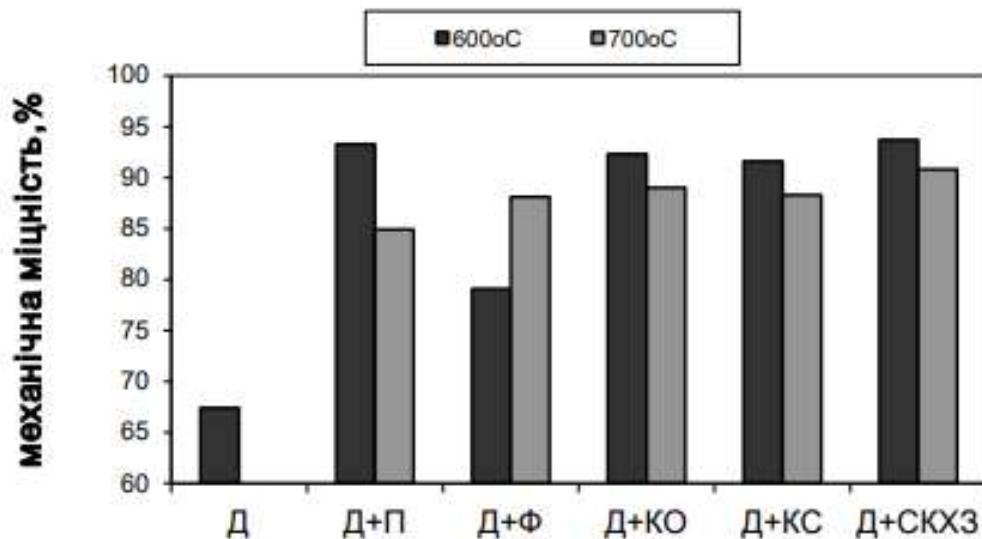
Менш метаморфізоване вугілля Д виявляє більшу чутливість до властивостей рідкого компоненту, активно взаємодіючи з ним вже на стадії змішування. Це проявляється навіть у складі рідких продуктів карбонізації.

Логічно припустити, що наявність добавок матиме вплив і на формування міцного вуглецевого каркасу, подібно до композицій продуктів КХВ з бурим вугіллям.

Механічна міцність зразків, одержаних при 600 і 700°C (рис. 2.4) для вугілля без добавок суттєво нижча (67- 65%), аніж для усіх складних карбонізованих систем (механічна міцність – 80-94%) [7].

Найбільш суттєве та стійке зміцнення каркасу спостерігалось у випадку СКХВ для всіх температур карбонізації (450-700°C).

Найвищий ефект підвищення міцності для цієї системи спостерігався при 550-600°C (приріст механічної міцності від 90 до 95%).



**Рис 2.4** Механічна міцність карбонізаців з вугілля Д та його сумішей з продуктами КХВ.

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7]

Задля додаткового аналізу карбонізованих матеріалів було визначено декілька їх фізико-хімічних властивостей. Визначено сорбційну ємність до іонів Купруму  $A_{Cu}$ , Йоду  $A_{I}$  (ГОСТ 6217-74) та до барвника – метиленового блакитного  $A_{MG}$  (ГОСТ 4453-74).

Величина  $A_{I}$  коливається у межах 0 - 49,4 мг/г, на відміну від вуглецевих сорбентів, де цей показник становить 600 – 1200 мг/г. Освітлювальна здатність карбонізаців також не є високою знаходячись в діапазоні 0 - 54,5 мг/г (тоді як для сорбентів, цей показник становить 120 - 220 мг/г).

Отримані результати вказують на слаборозвинену пористу систему зразків. Для отримання більш розвиненої системи пор на поверхні було застосовано спеціальну стадію – температурний вплив водяною парою на обрані карбонізати з метою одержання пористого вуглецю з механічною міцністю не нижче 75 [7].

Результати прискореної активації карбонізаців водяною парою (800 °C, швидкість нагріву 30 °C/хв, без ізотермічної витримки) свідчать (табл. 2.4.), що карбонізати з композиційної сировини є більш реакційноздатними

порівняно з вугільними зразками (ступінь випалу вища, а виходи активованого вуглецю знижуються з 90,5 % для зразка Д до 82-89 % у випадку сумішей).

Зі зразків з вугіллям Д найбільш термостабільним є карбонізація, що має найбільшу механічну міцність – Д (СКХВ), з виходом 89 %, найменш – карбонізація з Д (КС), вихід 82 %.

За однакових умов активації для зразків вугілля Д можна досягти розвитку поверхні від 150 - 250 м<sup>2</sup>/г (за методом BET) та до 170 - 420 м<sup>2</sup>/г (за методом ДФТ). Активація карбонізацій за участю газового вугілля виявилася майже неефективною. За близьких ступенів випалу (10%) величина поверхні, визначена за методами BET та DFT, становила ≤45 м<sup>2</sup>/г [7].

Таблиця 2.4

#### Результати активації карбонізацій водяною парою

Зразок карбонізата	Ступінь випалу, %	S <sub>BET</sub> , м <sup>2</sup> /г	S <sub>DFT</sub> , м <sup>2</sup> /г	V <sub>micro</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>mezo</sub> , см <sup>3</sup> /г
Д	9,5	168	193	0,073	0,018
Д-КЗ	13,2	156	182	0,066	0,016
Д-СКХЗ	10,9	147	170	0,06	0,015
Д-П	11,7	103	105	0,046	0,014
Д-КС	18,2	254	422	0,106	0,013
Д-Ф	13,5	162	169	0,077	0,017
Г	5,5	<40	21	0,01	0,002
Г-Ф	14,7	~45	36	0,02	0,006

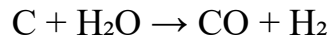
Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [7]

Хоча активований карбонізація вугілля Д не поступається за площею поверхні, композитні матеріали виграють за показником механічної міцності (80 – 86 % проти 65 % для активованого вугілля, виготовленого з одного вуглецю). Збільшення тривалості активації за рахунок ізотермічного витримування вихідної сировини сприяє створенню з композитних

карбонізація активованого вугілля з покращеною структурою поверхні (SBET, SDFT) 600 - 900 м<sup>2</sup>/г та механічною міцністю не нижче 80 %.

Хімічні реакції, що визначають перебіг активації, охоплюють:

1. Газифікацію водяною парою:



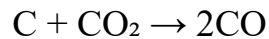
Реакція ендотермічна, інтенсифікує формування пор, особливо в мікропористому діапазоні.

2. Окиснення киснем:



При обмеженому доступі кисню процес сприяє селективному вигоранню менш стабільних ділянок вуглецевої матриці.

3. Реакцію з вуглекислим газом:



Відбувається повільніше, але також сприяє формуванню пір та очищенню поверхні.

Ці реакції супроводжуються дегазацією решти летких складників, усуненням золи та модифікацією поверхневих функціональних груп. Внаслідок цього формується система пір — мікро-, мезо- та макропори, котрі визначають адсорбційні властивості кінцевого продукту. Суттєво також, що активна поверхня набуває специфічного хімічного складу (карбоксільні, фенольні, лактонні групи), які впливають на гідрофільність, кислотно-основні характеристики та селективність адсорбції [6].

### 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 3.1. Вивчення основних шкідливих та небезпечних чинників роботи підприємства з виробництва активованого вугілля

Процес активування вугілля супроводжується низкою небезпечних та шкідливих виробничих чинників, які можуть мати негативний вплив на здоров'я працівників, навколишнє середовище та безпеку технологічного циклу. Виявлення та ретельний аналіз цих чинників є необхідним етапом під час проектування або модернізації подібних підприємств з метою гарантування безпечних умов праці та запобігання аварійним ситуаціям [8].

##### 1. Основні шкідливі фактори

- Забруднення повітря пилом: Під час дроблення, висушування та активування вугілля виникає велика кількість пилу з найдрібнішими частинками вуглецю та різних домішок. Якщо ним дихати, можуть розвинути професійні хвороби дихальних шляхів, наприклад, пневмоконіоз.

- Шкідливі газові викиди: Високотемпературна активація спричиняє появу різних газів – оксидів вуглецю (CO, CO<sub>2</sub>), азотних оксидів (NO<sub>x</sub>), сірководню та інших. Якщо вентиляція не забезпечує достатній обмін повітря, ці гази можуть накопичуватися в робочих приміщеннях та отруювати людей.

- Шумове навантаження: Функціонування устаткування (дробильні агрегати, плавильні печі, повітродуви) продукує збільшений шумовий фон, який може спричиняти погіршення слуху, збільшену втомлюваність і зниження продуктивності праці.

- Високі температури: Персонал, який обслуговує печі активації, підпадає під вплив значних теплових навантажень, здатних спровокувати теплові удари та зневоднення організму.

##### 2. Основні небезпечні фактори

- Пожежна безпека та ризик вибухів: Вуглецевий пил і гази, що вивільняються в процесі активації, здатні створювати вибухонебезпечні

сполуки. Недотримання норм використання обладнання та вентиляційних систем збільшує вірогідність пожеж та вибухів.

- Травми механічного характеру: Діяльність, що пов'язана з важким устаткуванням, транспортуванням вихідної сировини та готової продукції, може призвести до травм: ушкоджень кінцівок, опіків.

- Хімічна загроза: Зіткнення з активними газами (кисень, водяна пара) у певних обставинах може спричинити опіки дихальних шляхів або подразнення шкіри.

Задля мінімізації впливу шкідливих та небезпечних факторів, необхідно впроваджувати комплекс заходів з охорони праці: автоматизацію процесів, налагоджену вентиляцію, ефективні системи пиловловлювання, використання засобів індивідуального захисту, регулярне навчання персоналу та контроль за технічним станом обладнання [8].

## ВИСНОВКИ

У процесі роботи над дипломним проектом було проведено детальне вивчення процесу виготовлення активованого вугілля. Актуальність цієї теми обумовлена двома факторами: збільшенням потреби у вуглецевих сорбентах у різних секторах промисловості та необхідністю ефективно переробляти відходи деревообробки. Використання неліквідної деревини дозволяє не тільки ефективно застосовувати вторинні ресурси, а й зменшити витрати на кінцевий продукт.

Детально вивчено технологічні стадії підготовки сировини, карбонізації, активації та охолодження активованого вугілля. Значний акцент було зроблено на конструкції печі для активації, де планується застосування продуктів згорання природного газу (в тому числі водяної пари та двоокису вуглецю) як активуючого агента. Завдяки цьому методу вдається об'єднати процеси нагрівання та активації, що сприяє збільшенню енергетичної ефективності виробництва, зменшенню втрат тепла та спрощенню конструкції устаткування. Застосування базальтової термоізоляції та шамотної цегли гарантує довговічність і надійність печі в умовах високих температур.

Результати дослідження характеристик виготовленого активованого вугілля вказують на чудову якість цього матеріалу. З'ясовано, що структура пор, показник питомої площі поверхні та здатність до сорбції відповідають існуючим нормам, що робить його придатним для ефективного використання у процесах очищення води та газів, а також у медичній сфері й харчовій промисловості.

Завдяки реалізованому підходу досягнуто багатовекторного результату: ефективно використано відходи деревообробки, отримано сорбент високої якості та суттєво знижено витрати енергоресурсів. Отже, досліджена технологія є екологічно безпечною, енергоощадною і має перспективи для широкого впровадження у промисловості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Е.Т. Ковальов. Вуглехімічний журнал. Український державний науково-дослідницький вуглехімічний інститут: 2001. 65 с.
2. М.Л. Улановский, И.Д. Дроздник, Н.А. Клименко, М.Н. Тимошенко, С.В. Гречаник. Сырьевая база производства активированного антрацита. Оценка качества его опытных партий: Кокс и химия, 1996. № 3. С. 14-16.
3. Гордиенко А.І., Дроздник І.Д. Перспективы организации отечественного производства активных углей на основе малометаморфизованных каменных углей и антрацитов: Вуглехімічний журнал, 2008. № 3-4. - С. 5-6.
4. Бичов Р.М., Новопащин М.Д, Бичов М.І. Патент на вертикальну піч для отримання активованого вугілля, 2003. 10 с.-
5. Коршиков В.І., Юдкевич Ю.Д. Патент на піч для активації деревинного вугілля: ЗАТ «Лонас технологія»
6. Бахвалов А.Н., Чуйков А.В. Активоване вугілля, отримання, властивості, застосування. М: Хімія, 2004
7. Шендрік Т.Г., Тамко В.О., Шевкопляс В.М., Бован Л.А., Циба М.М. Міцні вуглецеві сорбенти з композиційної сировини на основі вугілля та побічних продуктів коксохімії: Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, відділ хімії вугілля, м. Київ, Україна. 13 с.
8. Амоша О.І. Стан, основні проблеми і перспективи вугільної промисловості України (наукова доповідь): Донецьк, Ін-т екон. промисловості НАН України, 2013. 44 с.
9. Кузнецов Б.Н. Шендрік Т.Г., Щипко М.Л., Чесноков Н.В., Шарыпов В.И., Осипов А.М. Глубокая переработка бурых углей с получением жидких топлив и углеродных материалов: Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2012. 212 с.

10. Шендрик Т.Г., Хабарова Т.В., Тамаркина Ю.В., Кучеренко В.А. Термолиз смесей бурого угля и нефтяных отходов: УглеХим. журн., 2005., № 1-2., С. 45 - 49.
11. Саранчук В.І. Ільяшов, В.В. Ошовський, В.С. Білецький. Основи фізики і хімії горючих копалин: Донецьк, Східний видавничий дім. 2008. 640 с.
12. Самсонов В.М., Бембель А.Г., Талызин И.В., Васильев С.А. Смачивание в твердом состоянии: атомистическое моделирование и диффузионный подход: Материалы 8-й Междунар. Конф «Химическая кинетика и термодинамика»: Тверь 2018, 319- 320 с.
13. Шендрик Т.Г., Шевкопляс В.Н., Цыба Н.Н. Динамика развития пористости при паровой активации композиционного углеродного сырья. - Материалы 9-й Междунар. конф «Химическая кинетика и термодинамика»: Тверь, 2019, 384-385 с.
14. Кингле Х., Бадер Е. Активные угли и их промышленное применение: Химия, 1984. 216 с.
15. Махорин К.Е., Тіщенко К.Е. Высокотемпературные установки с кипящим слоем – Київ: Техника, 1966. 210 с.

## **ДОДАТКИ**

## Звіт подібності

## метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок

Михайленко Марина Артемівна

Автор

Науковий керівник / Експерт

Михайленко Марина Артемівна Шмельцер К.О.

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

## Обсяг знайдених подібностей

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



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

8076

Кількість слів

64099

Кількість символів

## Тривога

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

Заміна букв		10
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		1

## Подібності за списком джерел

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

## 10 найдовших фраз

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	<a href="http://www.ipocc.org.ua/wp-content/uploads/2019/04/HPS-2017.pdf">http://www.ipocc.org.ua/wp-content/uploads/2019/04/HPS-2017.pdf</a>	11 0.14 %

## з бази даних RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
------------------	-----------	--

## з домашньої бази даних (0.00 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
------------------	-----------	--

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача-випускника

Михайленко Марина Артемівна

(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 Вибір та обґрунтування способів отримання активованого вугілля

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

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту ( роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консульта	Примітка
1	Аналітична частина	Десна Н.А.	зарах	2.06.25	Десна	
2	Основна частина	Десна Н.А.	зарах	2.06.25	Десна	
3						
4						

Завідувач кафедри



( 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

Здобувача Михайленко Марини Артемівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-21

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Вибір та обґрунтування способів отримання активованого вугілля

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>50;</u>
таблиць	<u>7;</u>
схем і рисунків	<u>6;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

**Якісні відмінності кваліфікаційної роботи** бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню питанню виробництва активованого вугілля, яке широко застосовується в виробництві фільтрів.

В кваліфікаційній роботі на основі огляду літературних джерел були розглянуті технології та устаткування які застосовуються для активації та обробки вугілля і інших видів вуглецевих речовин, переважно рослинного походження

Проведений аналіз технологій активації та сировини яка використовується в різних технологічних циклах, переваги і недоліки термічної, хімічної і змішаних форм активації. Наведені вимоги до активованого вугілля, принципи вибору сировини для активації різними технологіями. Розглянуті шляхи застосування активованого вугілля, отриманого різними способами активації. Представлені результати досліджень активації низькометаморфізованого кам'яного та бурого вугілля з додатковою обробкою його відходами хімічних цехів коксохімічного виробництва.

Представлені результати впровадження технології активації вугілля на коксохімічному виробництві з оцінкою ефективності впровадження.

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

В роботі не проведений огляд обладнання для термічної активації вугілля та вуглецевих речовин рослинного походження.

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

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

Здобувачка Михайленко М.А. під час написання кваліфікаційної бакалаврської роботи 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 економічно обґрунтованими.

**Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра**

Розроблені рішення та рекомендації по впровадженні технології активації вугілля низької стадії метаморфізму з додаванням відходів хімічних цехів коксохімічного виробництва може бути впроваджено на КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

**Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра**

Керівник Десна Наталя Анатоліївна  
(прізвище, ім'я та по-батькові)

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

  
(підпис)

« 2 » серпня 20 25 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 Михайленко Марини Артемівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи
<b>Тема кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Вибір та обґрунтування способів отримання активованого вугілля</u>
<b>Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Вибір та обґрунтування технології отримання активованого вугілля з різної сировини для виробництва промислових фільтрів</u>
<b>Переваги кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Проаналізовані вимоги до якості активованого вугілля для різних потреб промисловості, технологій і способів активації та сировини, що може бути використанні при тій чи іншій технології. Розглянутий хімізм процесу активації при використанні термічного способу та хімічного. Наведений спосіб отримання активованого вугілля з низькометаморфізованого вугілля з одночасною утилізацією відходів коксохімічного виробництва.</u>
<b>Недоліки кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Недостатньо проаналізовано обладнання і устаткування яке застосовується для активації в промислових умовах. Не надані рекомендації по кількісних параметрах процесу.</u>
<b>Рекомендації:</b> <u>робота може бути рекомендована до захисту.</u>
Рецензент <u>Шмалевец Катерина Дмитрівна</u> (прізвище, ім'я та по-батькові)

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

Шмалевец  
(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

Вибір та обґрунтування способів отримання активованого вугілля

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Михайленко Марина Артемівна

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 50 сторінки друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 0,14 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК

(подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «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, *Михайленко Марина Артемівна*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська (бакалаврська) робота (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

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

13.06.2025

*Михайленко М.А. Мисф*

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

Я, Михайленко Марина Артемівна, здобувачка 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.

02.06.2025

  
\_\_\_\_\_

М. Михайленко