

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**

Домброва Романа Вадимовича  
*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

на тему Вивчення можливості утилізації автомобільних шин в  
коксовому виробництві  
*(повна назва теми)*


за матеріалами Техніко – економічні показники роботи КХВ ПАТ  
«АМКР»  
*(повна назва бази дослідження)*

Науковий керівник к.т.н., доцент  Десна Н.А.  
*(наук. ступінь, вчене звання)* *(підпис)* *(прізвище, ініціали)*

**Робота допущена до захисту в ЕК**

Протокол засідання кафедри

від В.06.25 2025р. № 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 » червне 20 15 року

### ЗАВДАННЯ

#### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Домброва Романа Вадимовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вивчення можливості утилізації  
автомобільних шин в коксовому виробництві

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

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

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

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2025

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

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

4.1 Аналітична частина: фізико-хімічні основи процесу коксоутворення, вимоги  
до якісних показників і технологічних характеристик доменного коксу,  
характеристики автомобільних шин як вуглецевої сировини, особливості  
технологічного оформлення процесу підготовки шин до утилізації. Вивчення  
конструктивних параметрів устаткування та їх впливу на ефективність внесення  
вуглецевих відходів у вугільну шихту для коксування

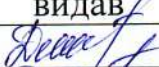
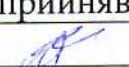


4.2 Основна частина: Вибір та обґрунтування технологічної схеми внесення  
автомобільних шин в шихту для коксування. Вивчення хімізму процесу  
утворення коксу з добавками вуглецевої сировини.

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: вивчення основних  
шкідливих та небезпечних чинників роботи цеху по внесенню вуглецевих  
домішок у вугільну шихту для коксування

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	02.06.2025	
5.	Захист роботи в ЕК	18.06.2025	

Здобувач

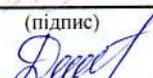


(підпис)

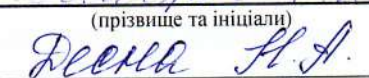


(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи



(підпис)



(прізвище та ініціали)

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



## АНОТАЦІЯ

Домбров Р.В. Вивчення можливості утилізації автомобільних шин у коксовому виробництві.

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 методам утилізації автомобільних шин у коксохімічному виробництві. У роботі показано, що найбільш екологічним способом утилізації є піроліз використаних автошин. Піроліз автошин можна проводити як самостійно, так і з додаванням інших типів відходів (твердих побутових відходів, в'язких та вуглецевовмісних відходів КХВ).

У роботі показано різні технології утилізації автомобільних шин. Під час піролізу отримуємо технічний вуглець, піролізну оливу та газоподібні продукти піролізу. Технічний вуглець має обмежене застосування через високу сірчистість, але є досить перспективною добавкою у вугільну шихту, якщо будуть розроблені відповідні технології очищення. Вихід технічного вуглецю при піролізі становить 35 - 40% від загальної кількості продуктів піролізу автошин,

Рідина, одержувана в результаті піролізу автошин, нагадує нафтову фракцію, яка може використовуватись як рідке паливо для промислових печей, електростанцій і котлів. Вихід рідкого продукту піролізу становить (34 - 42 %) і залежить від технології піролізу (типу реактора) та від рідинного режиму. Рідинні та газоподібні продукти піролізу можна використовувати не тільки як паливо, але і в якості плівкоутворюючих розчинників, пластифікаторів, пом'якшувачів для регенерації гуми.

Використання автошин у коксохімічному виробництві є досить перспективним, оскільки при цьому підвищується якість коксу та ліквідуються відвали відходів.

Ключові слова: автошини, піроліз, коксування, вугільна шихта, гумові крихти.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Фізико - хімічні основи процесу коксотворення	9
1.2 Вимоги до якісних показників та технологічних характеристик доменного коксу	13
1.3 Характеристика автомобільних шин як вуглецевої сировини	17
1.4 Особливості технологічного оформлення процесу підготовки шин до утилізації	18
1.4.1 Кріогенне подрібнення автошин	18
1.4.2 Подрібнення шин за кімнатної температури	21
1.4.3 Подрібнення під дією різноманітних полів	22
1.5 Піроліз автомобільних шин	23
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	28
2.1 Розгляд методів внесення автошин та продуктів їх переробки у вугільну шихту	28
2.1.1 Утилізація відпрацьованих шин у поєднанні з твердими побутовими відходами	29
2.1.2 Використання відпрацьованих шин як присадки у вугільній шихті	31
2.1.3 Піроліз автошин, як метод підвищення калорійності коксового газу та виходу рідких продуктів коксування	36
2.2 Вибір та обґрунтування технології внесення автомобільних шин з металокордом у шихту для коксування	41
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	46
3.1 Основні шкідливі та небезпечні чинники у вуглепідготовчому та коксівному цехах	46
3.1.1 Вугільний пил, його безпека та шляхи зменшення викидів	46
3.1.2 Характеристика шуму та шляхи його зменшення	49
ВИСНОВКИ	51

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

## ВСТУП

У процесі виробництва та після експлуатації усіх видів гумових виробів виникає велика кількість відходів, більшу частину яких складають автомобільні шини, що вийшли з експлуатації. Гумові вироби, на відміну від інших видів відходів, майже не піддаються впливу діяльності мікроорганізмів та кліматичних факторів. В Україні кожного року з'являється 180 тис. тон відпрацьованих автомобільних шин, з яких переробляються лише 10%, інші складуються на сміттєсховищах, коли як в країнах ЄС 91% з відпрацьованих шин направляють на переробку.

Одним з методів переробки є спалювання шин, яке не є екологічним способом утилізації, оскільки при спалюванні в атмосферу виділяються такі токсичні гази як  $H_2S$ ,  $COS$ ,  $CH_3SH$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ , важкі метали і утворюються канцерогенні поліциклічні ароматичні і гетероциклічні сполуки.

Шини є цінною сировиною для переробки, оскільки містять в собі каучук, металічну складову (металокорд) та технічний вуглець. На сучасних коксохімічних підприємствах гостро стоїть проблема розширення сировинної бази коксування, оскільки запаси коксівного вугілля у світі стають все меншими та підвищується їх вартість. Крім дефіциту коксівного вугілля в Україні спостерігається непостійність його поставок, що теж має негативний вплив. Тож розгляд технологій додавання до вугільної шихти автомобільних шин, як недефіцитної та дешевої сировини допоможе зменшити собівартість коксу та позбутись проблеми накопичення відпрацьованих автомобільних шин, вирішити проблему їх утилізації без шкоди для навколишнього середовища. А також це зменшить капітальні витрати на заходи з утилізації шин.

Отже, метою роботи є розгляд особливостей технологічного оформлення процесу підготовки шин до утилізації та методів внесення автошин та продуктів їх переробки у вугільну шихту.

Об'єкт дослідження у даній роботі – відпрацьовані автошини. Предмет дослідження – технології внесення автошин у шихту для коксування.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Фізико хімічні основи процесу коксотворення

Процес коксування – це метод термічного перетворення вугільної шихти без доступу повітря в інтервалі температур 1000 – 1100 °С. Сутністю процесу коксування є піроліз – перетворення хімічних та органічних складових під впливом високої температури. Сучасна теорія піролізу була докладно викладена у наукових роботах М.Г. Скляра та Н.С. Грязнова. В основу цієї теорії покладено уявлення про молекулярну будову твердих горючих палив, у відповідності з яким вугілля є природним високомолекулярним полімером нерегулярної структури. Молекулярна маса структурної одиниці, що визначається хімією полімерів, складає  $\geq 5000$  вуглецевих одиниць. Більшість дослідників дотримується гібридної теорії будови вугілля, у відповідності з якою у пустотах макромолекули розташовані низькомолекулярні речовини, що утримуються водневими, дисперсійними і більш сильними зв'язками.

Основна кількість коксу у світі виготовляється у горизонтальних щілинних печах періодичної дії. У цих печах прогрів коксувального завантаження відбувається шляхом теплопередачі від гарячих стінок до центру камери. Енергоносієм є зворотній коксовий газ або доменний, що спалюється у вертикальних опалювальних каналах.

Теплові потоки вугільного завантаження, що напрямлені від стінок до осі коксової камери, сприяють протіканню процесу піролізу.

Відразу ж після завантаження шихта нагрівається від акумульованого тепла стінками камери коксування. Температура стінок різко зменшується з 1100°С до 700 – 900 °С. Шар шихти, що прилягає біля стінок швидко спікається з утворенням коксу. За час коксування різниця температур поступово знижується, тепловіддача зменшується, але як тепло до стінки надходить безперервно, температура прилеглих до неї шарів зростає. Під час всього періоду коксування температура пристіночного шару шихти вище ніж шару всередині.

Температурне поле завжди залишається нерівномірним під час процесу коксування, навіть вкінці процесу (на 6 – 8 годині) волога шихта присутня в центрі шару шихти.

За даними властивостями і було названо цей процес шаровим коксуванням. З часом тепло проникає всередину вугільного завантаження, шари зміщуються і наприкінці об'єднуються. Внаслідок даного процесу і утворюється поздовжній температурний шов, що розділяє коксовий пиріг на дві частини.

Термохімічні перетворення органічних складових вугілля без доступу повітря протікають постадійно. За 200°C вугільна шихта висушується та починають протікати процеси декарбоксілювання і дегідрокарбоксілювання з виділенням низькомолекулярних газів  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  та  $\text{H}_2\text{O}$ . Відбуваються перегрупування у бокових ланцюгах макромолекули, що визначають подальший напрям перетворень.

В інтервалі температур 200 – (300 – 350) °C теплові коливання молекул призводять до інтенсифікації перегрупування і деякому збільшенню виділення низькомолекулярних продуктів  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  та  $\text{H}_2$ . Однак міжплощинна відстань у вуглецевих блоках залишається практично незмінною, тобто структурні перетворення на цій стадії не відбуваються з центральною поліядерною частиною вугільної макромолекули.

При нагріві від 300 – 350 до 450 – 470 °C відбувається термічне відщеплення бокових частин і виділяються продукти деструкції відносно великої молекулярної маси, у тому числі вуглеводні. В той же час, з погляду прихильників гібридної моделі будови вугілля, виділяються реакційно здатні низькомолекулярні складові органічної маси і продукти їх термічних перетворень у інтервалі температур, що включає в себе ліміт термічної стійкості більшості органічних з'єднань (400°C). Частина утворених продуктів покидає зону реакції у вигляді парів (починається виділення смоли, бензолу та його гомологів), а частина залишається у завантаженні, пластифікується і переходить у рідиннорухливий стан. Починаються вторинні взаємодії утворених продуктів

між собою (термічний синтез), але переважаючими залишаються процеси деструкції.

У результаті термічної деструкції вугілля і виділення парогазових продуктів у камері коксування виникає надлишковий тиск. Газовий тиск обумовлений, у першу чергу, кількістю парогазових продуктів. Вони евакуюються із завантаження у підклепінний простір печі і потім через стояки у газозбірник.

Пластична маса здійснює гідравлічний супротив руху парогазових продуктів через завантаження. У камері коксування до стінки розташовані два паралельних вертикальних шари, що зображені на рис 1.1.



**Рис. 1.1** Схема розподілу шарів у завантаженні по ширині камери коксування

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

Шари з'єднуються у верхній частині горизонтальним пластичним шаром і разом з подом утворюють замкнутий об'єм «мішок», що попереджає руху парогазових продуктів у підклепінний простір. У результаті всередині «мішка» збільшується тиск, що здійснюється парогазовими продуктами. Частина цього тиску передається на стінки. Його величина залежить від ряду факторів, що визначаються властивостями шихти і режимом коксування: кількості

парогазових продуктів, їх щільності, в'язкості пластичної маси, щільності завантаження, його газопроникності і тріщинуватості. Тиск збільшується до тих пір, поки створюване ним зусилля не зможе подолати гідравлічний супротив пластичного шару. Після цього «мішок» проривається, основна маса парогазових продуктів піднімається у підсклепінний простір і тиск зменшується. 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. Це необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації печей. У розрахунках міцності опалювальних простінків гранично допустима величина тиску розпирання приймається рівною 7 кПа.

В інтервалі від 450 – 470 до 500 - 550°С відбувається різке зменшення маси завантаження в основному за рахунок виділення смоли, а також низькомолекулярних газів. Активізуються процеси термічного синтезу, в результаті пластична маса твердіє та утворюється напівкокс. В цілому при 300 - 550°С з нерегулярної вуглецевмісної частини макромолекулярної структури виникає велика кількість двомірних кристалізаційних центрів – зародків утворення великих шарів циклічно організованого полімеризованого вуглецю.

При температурах більше 500 – 550 ° термічна деструкція продовжується, але основним термохімічним процесом є синтез (полімеризація та поліконденсація). По досягненню 800 - 1000°С (більш низькі температури для більш метаморфізованого вугілля) утворення нових центрів кристалізації припиняється і основним процесом стає асоціація окремих блоків в укрупнені вуглецеві системи з взаємно орієнтованими шарами – утворюється структура коксу.

В результаті дослідження рентгенограм вугільного завантаження на різних стадіях процесу було встановлено, що формування моноліту коксу із вугілля різного ступеню метаморфізму здійснюється по двом різним механізмам. Для гарно спікливого вугілля домінує механізм всебічного спікання, що призводить до утворення в'язкої та текучої спученої маси і до переміщення її на гарячу

сторону під дією сил тиску спучених вугільних зерен і внутрішньосферного газового тиску. Для слабо спіклого вугілля важливу роль грає механізм поверхневого спікання у зв'язку з недостатнім спученням вугільних зерен. При коксуванні вугільних шихт у завантаженні одночасно розвиваються обидва механізми, причому ведуча роль одного з них визначається співвідношенням гарно та слабо спіклого вугілля.

Щільність матеріалу зростає, що у поєднанні з тривалою втратою маси призводить до зменшення його об'єму. Відбувається усадка завантаження. Її величина у горизонтальному напрямі близька до пластометричної усадки. Усадка у промислових печах дозволяє відійти коксовому пирогу від стінок камери, що полегшує видачу коксу. Усадка у вертикальному напрямі приблизно у 20 разів більше за рахунок дії на матеріал ваги вище лежачих шарів завантаження і складає 300 – 600 мм. У результаті усадки у моноліті утворюються тріщини, формуються окремі шматки коксу, при тріщиноутворенні вивільняється потенційна енергія термомеханічної напруги, як наслідок, зростає міцність шматків. Питомий електричний опір коксу знижується.

Через нерівномірність температур за об'ємом завантаження, зовні спостерігається неоднакова макроструктура шматків коксу. У осьовій площині утворюється температурний шов, що характеризується більш темним кольором та пухкою структурою. Вихід коксу складає 75 – 78% від маси сухого вугілля [1].

## **1.2 Вимоги до якісних показників та технологічних характеристик доменного коксу**

Кокс є найважливішим компонентом для роботи доменних печей. Згоряючи у доменній печі, кокс дає тепло, тобто є паливом, а також відновлюючим агентом. Для отримання коксу гарної якості використовують, в основному, суміш вугільних шихт, де частка спікливих марок не менше 50%. Якість коксу залежить від вмісту в ньому вуглецю, умов коксування та

попередньої обробки, а також від якості вугілля. У всьому світі на багатьох коксохімічних заводах у промислових масштабах застосовуються методи попередньої обробки матеріалів для отримання коксу, такі як попереднє нагрівання, змішування брикетів, завантаження шихти з трамбуванням, групове дроблення та інші. До концентратів коксування пред'являють наступні вимоги: спікливість (коксуєча здатність) має бути достатньою для участі даного концентрату у загальній шихті; зольність – перебувати в межах, допустимих для цієї марки вугілля; вміст сірки має бути якомога меншим [2].

Властивості коксу можна розподілити на хімічні, фізичні, фізико - механічні та фізико - хімічні. Хімічний склад коксу визначається показниками його технічного та елементного аналізів. Волога коксу знижує його теплоту згоряння, так як при збільшенні знижується вміст вуглецю у коксі та збільшується витрата тепла у доменній печі на випаровування вологи. Кокс сухого гасіння містить 0,4 -1,9% вологи, а кокс мокрого гасіння більш вологий - 4 - 5%. Основною вимогою до вологи є її сталість, без різких її коливань.

Зольність коксу - це вміст мінеральних речовин, що входять в його склад. У відповідності з нормами витрати коксу в доменних печах зниження зольності на 1,0% призводить до росту продуктивності печей на 1,3% і зниженню питомої витрати коксу на 1т чавуну. Чим менше вміст золи - тим якіснішим є кокс. Середня зольність доменного коксу в Україні складає 11,6%, коксового горішку - 12,7%, а коксового дріб'язку - 14,3%.

Сірчистість коксу характеризує вміст у ньому всіх сірчистих з'єднань у перерахунку на сірку. Сірка в коксі є шкідливою домішкою, так як більша її частина (93-95%) переходить в чавун, де утворює сульфід заліза. У свою чергу, сульфід заліза утворює з залізом евтектичну суміш, яка плавиться за температури 950°C і викликає червоноламкість сталі. Рівень сірчистості коксу визначається сірчистістю вихідного вугілля, а також термохімічними перетвореннями різноманітних форм сірки (сульфатної, піритної та органічної) при коксуванні. Середня сірчистість доменного коксу по Україні складає 1,18%.

Вихід летючих речовин характеризує готовність коксу, тобто ступінь перетворення вугілля у кокс. Цей показник для доменного коксу складає 0,8 – 1,0%.

Вміст фосфору у коксі практично повністю визначається вмістом його у вугільній шихті, так як майже весь фосфор вугілля при коксуванні переходить у кокс. Фосфор у більшості випадків є шкідливою домішкою, оскільки його підвищений вміст у металі викликає холодноламкість сталі. Тому вміст фосфору у вугільній шихті повинен бути мінімальним.

До фізичних властивостей коксу відноситься структурна міцність коксу за визначенням методу по Н.С. Грязнову - міцність коксу, в якому відсутні тріщини, для якісного коксу цей показник повинен складати 80 – 90%.

Щільність коксу (дійсна та уявна) повинна бути в межах від 0,8 - 1,0 і 1,8 – 2,0 г/см<sup>3</sup>.

Середня питома теплоємність коксу знаходиться в межах 1,4 - 1,5 кДж/(кг·°С). Як і у більшості твердих тіл, зі збільшенням температури теплоємність коксу зростає.

До фізико – хімічних властивостей коксу належить реакційна здатність та температура спалаху коксу.

Реакційна здатність коксу (CRI) – це властивість коксу реагувати у певних температурних межах з окислювачами, що знаходяться у газоподібному стані [1].

Відомо, що чим нижче реакційна здатність коксу, тим на більш низьких горизонтах доменної печі він підлягає реакції газифікації, практично повністю зберігаючи вихідний гранулометричний склад коксу. Це обумовлює гарну газопроникність стовпа шихтових матеріалів, постійну фільтрацію металу та шлаку у горні печі. Але з іншої сторони, чим вище реакційна здатність, тим більше ступінь вигорання вуглецю і при цьому дріб'язок, попадаючи у шлак, зменшує його текучість, і відповідно, газопроникність стовпа шихтових матеріалів у доменній печі [3].

Результати роботи доменних печей свідчать, що при збільшенні показника CRI на 1% понад 37% середня питома витрата коксу знижується на 2,5 %, а продуктивність печі може зрости на 2,2 %, якщо при цьому вдається технологічними заходами запобігати загромодженню горну.

За ДСТУ 4703:2022 реакційна здатність коксу повинна бути  $CRI \sim < 33$ , але коксохімічні підприємства можуть також використовувати кокс з CRI у межах від 29 до 40 [4].

Післяреакційна міцність (CSR) – міцність залишку коксу, що прореагував.

Чим вище післяреакційна міцність, тим менше втрати коксу у доменній печі, і як наслідок, є можливість скорочення використання коксу під час плавки.

Між показниками CSR та CRI є лінійна залежність. При проведенні досліджень на доменних печах металургійного виробництва в Дилингемі (Німеччина) показали, що при збільшенні CSR коксу з 45 до 58% майже вдвічі знизилась величина середнього розміру шматків коксу при опусканні його від колошника до горну. За ДСТУ 4703:2022 показник міцності залишку коксу повинен перебувати в межах  $\sim > 55$ , але також допустиме використання коксу з іншими показниками (у межах від 43 до 56) [5].

Температура спалаху коксу – це та мінімальна температура, при якій суміш загоряється або починає тліти і продовжує горіти або тліти після того як прибрали джерело спалаху. Температура спалаху коксу знаходиться в межах 470 – 650 °C і зростає зі збільшенням кінцевої температури коксування і розміру шматків матеріалу, з якого виготовлений дослідний зразок.

До фізико – механічних властивостей коксу відносять механічну міцність та його гранулометричний склад.

Механічна міцність коксу характеризується показниками  $M_{25}$  та  $M_{10}$  (стійкість до дроблення та стирання коксу).

Показники механічної міцності коксу підприємств України складають у середньому:  $M_{25} = 86,8\%$ ;  $M_{10} = 7,5\%$ .

Зниження показника  $M_{25}$  на 1,0% призводить до збільшення продуктивності печей на 0,6% та знижується питома витрата коксу. А при

зниженні показника  $M_{10}$  на 0,1% продуктивність доменної печі збільшується на 0,28% і на таку ж величину зменшується витрата палива.

#### Гранулометричний склад коксу

Кокс доменний характеризується гранулометричним складом в межах від 25 до 80 мм. Однак вміст двох крайніх класів є небажаним, оскільки вміст більш дрібного коксу 25 мм і менше не виконує функцію розпушувача стовпа шихтових матеріалів, а великий кокс 80 і більше мм є неміцним та піддається руйнуванню у доменній печі, що збільшує витрату коксу та знижує продуктивність доменної печі [1].

### **1.3 Характеристика автомобільних шин як вуглецевої сировини**

Основними компонентами шин є каучук та активний наповнювач. З каучуків використовуються головним чином натуральний, синтетичний, ізопреновий, бутадієновий, бутадієнстирольний, бутилкаучук і для литих шин - уретановий каучук. Крім каучуку і наповнювача шинні гуми можуть містити до 20 і більше інгредієнтів, що виконують функції зшиваючих агентів, прискорювачів вулканізації, стабілізаторів, антиоксидантів, пластифікаторів, пом'якшувачів, технологічних добавок та інших.

Вимоги до властивостей гум для шин принципово відрізняються в залежності від того, для яких елементів шини і яких типів вони призначені [6].

Відпрацьовані шини є значним забрудником навколишнього середовища. Викинуті на смітник, або закопані шини розкладаються у природних умовах не менше 100 років. Контакт шин з дощовими залишками і ґрунтовими водами супроводжується вимиванням ряду токсичних органічних з'єднань: дифеніламіна, дибутилфталату, фенантрени та інших. Всі ці з'єднання потрапляють у ґрунт. Крім того, навіть якщо резина не експлуатується, вона все одно виділяє деяку кількість хімічних речовин.

Разом з цим, використані автомобільні шини є цінним джерелом вторинної сировини: гуми, технічного вуглецю, металічного корду та ін.

Використана шина являє собою цінну вторинну сировину, що містить 65 - 70% гуми, 15 - 25% технічного вуглецю, 10 -15% металу. Економічне значення використання відпрацьованих шин визначається тим що добуток природних ресурсів стає все більш дорогим, а у деяких випадках - обмеженим. Утилізація використаних автошин дозволить суттєво знизити використання деяких дефіцитних природних ресурсів. Тому використання відпрацьованих шин набуває все більшого значення [7].

#### **1.4 Особливості технологічного оформлення процесу підготовки шин до утилізації**

Методи утилізації використаних шин зазвичай включають отримання з них на першому етапі резинових крихт як напівфабрикату, який у подальшому можна використовувати. Технологічні процеси подрібнення використаних шин з отриманням резинових крихт розподіляються на наступні:

- 1) криогенне подрібнення при якому гума різко охолоджується до температури від -80 до -150°C під дією рідкого азоту або холодного повітря і подрібнюється механічним способом.
- 2) подрібнення при кімнатній температурі механічним шляхом.
- 3) специфічні процеси подрібнення під дією полів різної природи.

##### **1.4.1 Криогенне подрібнення автошин**

Криогенне подрібнення включає наступні стадії, що здійснюються у безперервному режимі: подрібнення покришок, охолодження подрібнених шматків у холодильній камері до температури нижче температури, склування резини, подальше подрібнення крупних шматків резини з одночасним відділенням текстильного і металічного корду. Текстильний корд відбирається пневмотранспортером, а металокорд відділяється від резини з використанням магнітного сепаратору і виводиться з технологічного циклу. Гума далі надходить

на подрібнення або після повторного охолодження у іншій холодильній камері, або при кімнатній температурі з використанням дискових млинів, валкового обладнання або інших дробильних агрегатів. Кінцевим продуктом є резинові крихти з частинками розміром від 0.5 до 1.6 мм.

Переваги кріогенного подрібнення

- 1) більш високий вихід гуми.
- 2) отримання більш чистих резинових крихт.
- 3) значне (в 1,5 - 2 рази) зниження витрати енергії на подрібнення (без витрат на отримання рідкого азоту).
- 4) менша пожежо- та вибухонебезпечність процесу і можливість окислення резинової крихти.
- 5) можливість використання металу, що містить невелику кількість гуми, як вторинної сировини.
- 6) менший механічний знос робочих поверхонь дробильного обладнання.
- 7) зниження кількості обслуговуючого персоналу.
- 8) можливість отримання резинового порошку дуже дрібного помолу (з частинками розміром від 100 - 150мкм).

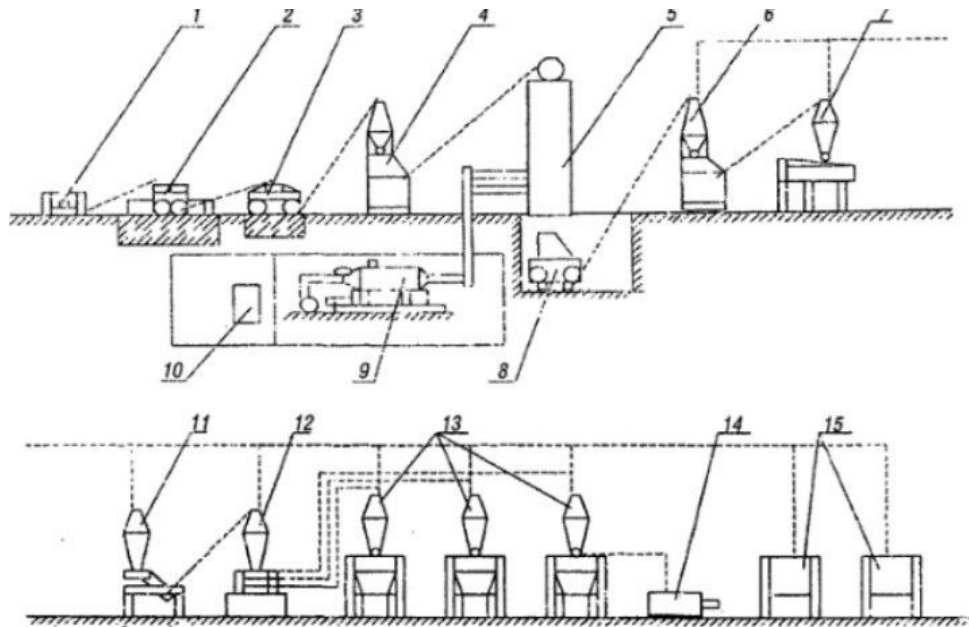
Недоліки:

- 1) велика вартість холодоагенту, особливо при використанні рідкого азоту, що в свою чергу, призводить до різкого збільшення експлуатаційних витрат.
- 2) необхідність створення складних систем охолодження
- 3) великі втрати холодоагенту при його отриманні зі сторони, або необхідність створення власних установок для його виробництва, що характеризуються великим енергоспоживанням (витрата електроенергії на виробництво рідкого азоту досягає 1,2 кВт/ год на 1кг).

У наступний час розроблені технології кріогенного подрібнення з використанням альтернативних носіїв холоду, у першу чергу, холодного повітря, що генерується за допомогою турбодетанторів або турбохолодильних установок.

У світі установки з кріогенного подрібнення з використанням рідкого азоту виготовляються фірмами INTEC (Німеччина) та WIRTECH (Швейцарія).

Лінія кріогенного подрібнення була розроблена на ЗАТ "Камські екологічні технології". Вона була застосована для переробки шин з металічним та текстильним кордом. Технологічна лінія по переробці зображена на рис.1.2.



**Рис.1.2 Технологічна лінія по переробці використаних шин**

Примітка. Джерело. Розроблено з використанням: [6].

Технологія низькотемпературного охолодження дозволяє переробляти шини екологічно безпечним способом, так як при цьому не виділяються летючі продукти.

Основні переваги технологічного процесу.

- 1) відмова від використання рідкого азоту, фреону, аміаку,
- 2) відносно мала питома енергоємність.
- 3) екологічна чистота.
- 4) збереження резиновою крихтою вихідних характеристик каучуку.
- 5) великий вихід товарної крихти.
- 6) високий ступінь очищення гуми.

Лінія складається з вузлів:

Крупне дроблення - установка для бортових кілець з борторізним станком, блок крупного дроблення резини, система видалення металолому з сепаратором 4.

Низькотемпературний модуль - система підготовки та очищення холодного повітря за допомогою турбохолодильної машини 9, низькотемпературної холодильної камери 5 та низькотемпературної молоткової дробарки 8.

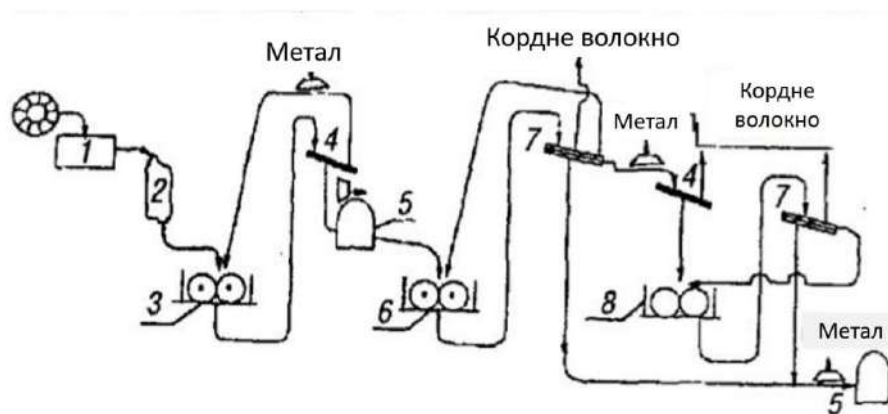
Тонке очищення - установка текстильного корду з грохотом 7, відділення металокорду за допомогою електросепаратору 11, розділення крих на фракції з класифікатором 12

Бункерна система накопичення і зважування - бункери накопичувачі 13 з системою розпакування та зважування.

Транспортні системи подачі продукту - система конвеєрів та пневмотранспорту з блоком рукавних фільтрів 15.

#### 1.4.2 Подрібнення за кімнатної температури

Принципова технологічна схема отримання резинових крихт з використанням валкового обладнання для переробки шин з текстильним кордом приведена на рис.1.3.



**Рис. 1.3 Технологічна лінія отримання крихт із використаних шин з текстильним кордом**

Примітка. Джерело. Розроблено з використанням: [6].

Технологічний процес складається з послідовного подрібнення шматків гуми на дробарних вальцях з рифленою поверхнею валків. При проходженні гуми через щілини між валками, що обертаються з різною частотою, шматки підлягають зрізу, стисканню та роздиранню. При цьому відбувається часткове відділення текстильного корду і зменшення розміру частинок. Матеріал, що пройшов через щілини, надходить на вібропросіювач, на котрому відбувається розсіювання маси з відділенням фракції резини до 20 мм і відсіювання текстильного корду. Більш крупні шматки повертаються на валки, а фракція до 20 мм надходить на валки аналогічної конструкції, де гума подрібнюється до частинок розміром 3,5 - 5 мм з наступним розсівом і повторним відділенням текстильного корду. Крихти з розміром 3,5 - 5 мм подрібнюється до частинок розміром 0,8 - 1,2 мм. На цій лінії можна переробляти і покриття з металокордом, якщо на першій стадії використовувати три або чотири послідовно встановлених дробильних валків для відділення резини від корду.

### **1.4.3 Подрібнення під дією різноманітних полів**

Застосування різноманітних електрофізичних методів дії на оброблювану систему дозволяє розроблювати недорогі та високопродуктивні процеси дроблення шин. Для отримання резинового порошку будь якої дисперсності при повному відділенні корду і без будь яких хімічних змін порошку застосовують:

- 1) електрогідрравлічний розряд у рідинному середовищі.
- 2) імпульсні магнітні поля.
- 3) вибух (шини деформують стисненням з отриманням компактного блоку і зберігають деформацію стиснення до вибуху). Подрібнення вибухом проводять у розміщеній всередині спеціального корпусу вихровій камері обертаючим навколо її осі вихровим потоком.

Методи, засновані на різноманітних електрофізичних способах дії на оброблюване середовище поки не знайшли широкої практичної реалізації внаслідок високої вартості апаратурного оформлення і великих енерговитрат,

тому перевага надається механічним способам утилізації шин з використанням традиційного обладнання.

Резинову крихту можна додавати у вугільну шихту для коксування, задля заміни частини вугілля. При такому способі кокс стає більш дешевим, а також разом з резиновою крихтою є можливість утилізувати відходи коксохімічного виробництва: коксовий пил, фуси відділення конденсації, полімери бензольного відділення тощо [6].

### **1.5 Піроліз автомобільних шин**

Найбільш екологічним способом утилізації є піроліз використаних шин. У реакторі сировина піддається розкладу при температурі приблизно 450°C, у процесі якого отримуються напівпродукти: газ, рідиннопаливна фракція, вуглецевовмісний залишок та металокорд. Піроліз перспективний у силу можливості переробки цілих шин.

Піроліз може бути поєднаний з іншими технологіями для подальшої переробки газоподібних і рідких продуктів на нафтопереробних виробництвах.

У порівнянні з іншими стратегіями утилізації відпрацьованих шин піроліз має низку переваг з точки зору експлуатаційних, економічних та екологічних аспектів. Наприклад, піроліз є більш енергетично ефективним. Крім того, можливість додавання інших відходів (таких як пластмаса або біомаса) в якості надає цій технології універсальності.

Термічна деструкція відпрацьованих шин представляє особливий інтерес, але водночас є складним завданням, оскільки їхній склад може містити понад 100 компонентів залежно від процесу виробництва, торгової марки та типу шин.

У результаті аналізу різних типів шин було визначено, що вміст летких речовин становить 57,50 - 73,74 мас.%, фіксованого вуглецю 19,45-32,28 мас.%, золи 2,40-20,12 мас.% і вологи 0,40-2,10 мас.%. Результати елементного аналізу сухої основи показали значні відмінності у вмісті вуглецю (67,08-86,70 мас.%) і сірки (0,92-2,05 мас.%), а також водню (6,12-8,10 мас.%).

Відмінності у складі сировини створюють великі проблеми для піролізу, оскільки вони впливають на однорідність продукту.

Дослідження піролізу автошин зосереджені у основному, на оптимізацію піролізної установки та умов її експлуатації, а також розгляд впливу факторів на вихід, розподіл і склад продуктів піролізу. Існує кілька типів піролізних установок і кілька критеріїв для їх класифікації. Наприклад, вони можуть бути розподілені за режимом подачі сировини (безперервний або періодичний режим роботи), за режимом енергозабезпечення (тепло, що виділяється під час згоряння сировини, під час додавання інертного газу або матеріалу, під час передавання тепла через зовнішні стінки або внутрішні радіатори) або залежно від сили, використовуваної для переміщення сировини всередині реактора (тобто пневматичної, механічної або гравітаційної).

Піролізні установки з нерухомим шаром найчастіше використовуються для досліджень (у лабораторних масштабах), незважаючи на недоліки, пов'язані з притаманною їм періодичністю роботи. Під час дослідження, гумові крихти утрамбовуються в реактор і нагріваються до заданої температури. З іншого боку, безперервний режим роботи вважається простішим в експлуатації, зручним у налаштуванні робочих умов і загалом стабільнішим з точки зору складу продуктів.

Тип реактора і робочі умови процесу (температура, час перебування, швидкість нагріву і розмір частинок сировини) впливають на вихід піролізу, розподіл продуктів і її якість. Температура є основним фактором впливу, з підвищенням температури виділяється більша кількість піролізного газу та знижується кількість рідинного продукту, оскільки високі температури сприяють подальшому термічному крекінгу рідких органічних сполук [8].

Процес піролізу проходить наступним чином. Спочатку вирізається борт покриття, після чого відбувається обробка на шматки, які завантажуються в кошик і за допомогою підйомного механізму кошик поміщається в піролізну установку, де піддається нагріванню до 500 °C без доступу кисню. Спочатку установка розігрівається з використанням рідкого палива, після виходу на режим

паливний рідина відключається та запускається газовий пальник. В результаті піролізу утворюється парогазова суміш, яка під природним тиском прямує до системи конденсації, внаслідок конденсації утворюється синтетична нафта, пройшовши очищення, залишки парогазової суміші спалюються в рідкопаливному пальнику, забезпечуючи підтримку процесу. Залишки піролізного газу можуть використовуватися для побутових потреб, або закачуватись у ємності для подальшого використання. Тривалість процесу піролізу (активний режим) 12-14 годин, включаючи завантаження кошика. Після закінчення процесу піролізу установка переводиться в режим охолодження. Після 12-ї години, піролізна установка відкривається і за допомогою тельфера відбувається виїмка кошика, що переміщається в охолоджувач, де знаходиться 10-12 годин, після чого кошик витягується з охолоджувача і встановлюється в грохот, відділення вуглецевмісного залишку (технічний вуглець) від металокорду.

Перевагою піролізу є його екологічна безпечність, внаслідок протікання процесу у відсутності атмосферного повітря, в результаті чого у піролізних газах у низьких концентраціях містяться такі токсичні з'єднання, як діоксид сірки, оксиди азоту та оксид вуглецю. Важливим аргументом у користь піролізу є утворення твердого вуглецевого залишку, у вигляді шматків і частинок широкого фракційного складу, що представляють інтерес у якості вторинної сировини у окремих напрямках хімічної промисловості.

Газовий продукт піролізу складається здебільшого з низькомолекулярних вуглеводнів, а саме парафінів та олефінів з часткою сірковмісних та азотовмісних летких сполук. Водень та метан є основними компонентами газу, загальний вміст кожної речовини у ньому зазвичай становить 20-40 об.% від загальної кількості газоподібного продукту. Піролізний газ часто називають синтез - газом, незважаючи на відмінність у складі звичайного синтез - газу, що містить монооксид вуглецю у значній кількості (зазвичай у діапазоні 20-50 %). Синтез - газ, отриманий шляхом піролізу автошин, містить CO і CO<sub>2</sub> у кількості 1-2 об.% кожний, інші вуглеводні (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), сірковмісні сполуки (зазвичай близько 1 об.%, наприклад, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, меркаптани) і

азотовмісні сполуки ( $<0,1$  об.%  $\text{NH}_3$ ). Як правило, синтез - газ становить 10-30 мас.% від продуктів піролізу.

Газ частково повертається у топку реактору для підтримання процесу. Залишкова частина газу спалюється на свічці або надходить на котел - утилізатор.

Твердий продукт піролізу ЕПТ, який зазвичай називають технічним вуглецем, є складною сумішшю, утвореною сполуками, використовуваними під час виробництва шин, а саме: сажею, неорганічними добавками та наповнювачами (такими як оксид цинку, оксид кремнію та карбонат кальцію), та металеві залишки (металокорд зазвичай видаляють із шин перед піролізом). Реакції реполімеризації гумових сумішей можуть давати додаткові вуглецеві залишки, вміст яких приблизно 4% від загальної кількості твердого продукту.

Склад сировини, технологія піролізу та умови впливають на вихід і характеристики технічного вуглецю. Зазвичай, вихід технічного вуглецю при піролізі становить 35 - 40% від загальної кількості продуктів піролізу автошин, що впливає на економічну доцільність процесу.

Вуглецевомісний залишок після гасіння і охолодження піддається магнітній сепарації ( або просіюється через сито) з метою відділення дроту металокорду. Рідке паливо та металокорд відправляються на склад для подальшого відвантаження споживачу.

Рідина, одержувана в результаті піролізу автошин, нагадує нафтову фракцію. Вихід рідкого продукту піролізу становить (34 - 42 %) і залежить від технології піролізу (типу реактора) та від рідинного режиму. Хімічний склад рідини не залежить від умов піролізу, хоча за високих температур підвищується вміст ароматичних сполук.

Піролізна олива являє собою різноманітну суміш сполук (понад 100 молекул), що містить бензолні вуглеводні, нафталіни, фенантрени, n-алкани ( $\text{C}_{11}$  -  $\text{C}_{24}$ ), алкени ( $\text{C}_8$  -  $\text{C}_{15}$ ), азот- і кисневмісні сполуки у відносно низьких концентраціях, а також сірку. У більшості випадків вміст сірки перевищує стандартну межу в 1 мас.%, через що необхідне подальше вилучення сірки.

Піролізні оливи, отримані з шин, можуть використовуватися як рідке паливо для промислових печей, електростанцій і котлів. Хімічний склад шинного піролізної оливи за вмістом олефінів аналогічний складу конденсатів, одержуваних під час коксування різних нафтових залишків, термічного крекінгу газойлевих фракцій і парового крекінгу бензинів. Крім використання як палива, піролітичну оливу можна розділити на різні фракції шляхом ректифікації, які можуть бути змішані з відповідними нафтовими фракціями [9].

Рідинні та газоподібні продукти піролізу можна використовувати не тільки як паливо, але і в якості плівкоутворюючих розчинників, пластифікаторів, пом'якшувачів для регенерації гуми. Пек піролізної смоли є гарним пом'якшувачем, котрий може використовуватись самостійно або у суміші з іншими компонентами. Важка фракція піролізату як добавка до бітуму, що використовується у дорожньому будівництві, може підвищити його еластичність, стійкість до холоду та вологи.

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розгляд методів внесення автошин та продуктів їх переробки у вугільну шихту

Найбільший інтерес з продуктів піролізу автомобільних шин, що є необхідними для подальшого використання є технічний вуглець. Однак більшість із існуючих методів піролізу не дає високоякісного технічного вуглецю. Піролізна сажа характеризується високою зольністю та забруднена сіркою, що є недопустимо для використання її у шихті для коксування.

Технічний вуглець має дуже велику зольність ( $V^{\text{daf}} = 12 - 15 \%$ ), через вміст присадок у резині, може бути досить токсичним.

Використання технічного вуглецю перспективно у різноманітних галузях промисловості. Твердий залишок може бути використаний у якості вихідного матеріалу при виготовленні активованого вугілля, піровуглецю та у якості палива у спеціальних пристроях. Крім того технічний вуглець, при певній обробці може виступати заміном для отримання коксу. Але серйозною перешкодою у використанні є забрудненість сіркою, вміст якої у металургійному коксі повинен бути мінімальним.

Вирішення питання про додаткову переробку технічного вуглецю після піролізу з його активацією, що збільшує питому поверхню та з знесірченням може стати новітньою технологією у отриманні вуглецевих відновників металів, що вкрай необхідні для металургійної промисловості.

Одним з перспективних шляхів може стати каталітична гідродесульфурація, що має дуже важливе значення у переробці нафти та рідкого палива в цілому. Задачею каталітичної десульфурації є повне гідрування і видалення сірки з палива, а також із сировини для каталітичного риформінгу [8].

Універсальність сучасних металургійних технологій та агрегатів для переробки відходів досліджувалась на ВАТ «ЗСМК». Там було розроблено один із варіантів галузевого та міжгалузевого рециклінгу на коксохімічному

виробництві. При цьому коксова батарея розглядається не тільки як агрегат для виробництва коксу, але і як реактор для утилізації різних техногенних вуглецевмісних відходів - як власних, так і інших галузей промисловості та споживання. Рідкі відходи та побічні продукти (кисла смолка, полімери бензольного відділення, відходи виробництва фталевого ангідриду, некондиційні смоли) подаються в шихту на коксування через встановлення утилізації хімічні відходи. Тверді - осад пеку, відходи виробництва фталевого ангідриду, опади з аміачних колон, гумові відходи та інші подаються в шихту через вагоноперекидач у вуглепідготовчий цех. В результаті цього усі всі рідкі та тверді відходи коксохімічного переділу ВАТ «ЗСМК» на 100% утилізуються під час коксування.

### **2.1.1 Утилізація відпрацьованих шин у поєднанні з твердими побутовими відходами**

Найбільш ефективним для коксохімічних підприємств є спосіб утилізації гумових відходів (відпрацьованих шин) у поєднанні з твердими побутовими відходами (пластик, текстиль та деревина), шляхом введення їх у шихту для коксування з дотриманням вимог, що забезпечують збереження пічного фонду та попереджають погіршення якості продукції та екологічних показників. На рівні з використанням деяких видів відходів у рецептурах сумішей товарних продуктів, переробка відходів і споживання шляхом додавання їх до вугільної шихти дозволить створити замкнутий цикл утилізації відходів як вторинної матеріальної або енергетичної сировини.

Також є можливість отримати якісний кокс з низькою собівартістю.

Для реалізації даної технології необхідне попереднє сортування, дроблення та пресування, потім відходи змішують з в'язкотекучими відходами коксохімічного виробництва у співвідношенні 1:1, отриману суміш подають у вугільну шихту у кількості 0,8 - 1% від маси шихти, а піроліз проводять шляхом коксування шихти при отриманні металургійного коксу.

Даний спосіб утилізації гумових шин у поєднанні з твердими побутовими відходами забезпечує досягнення технічного результату, що полягає у наступному:

- 1) покращення екології ліквідацією відвалів твердих побутових відходів та використаних шин і комплексною утилізацією в'язких рідинних відходів коксохімічного виробництва, очисткою відхідних газів піролізу та переробкою хімічних продуктів коксування сумісно з продуктами коксування вугілля.
- 2) отримання якісних характеристик продуктів коксування.
- 3) виключення капітальних витрат на будівництво установок з піролізу відходів, так як використовується обладнання діючого коксохімічного виробництва.

Дослідженнями доведена необхідність змішування гумової крихти та побутових відходів у співвідношенні 1:1, при цьому отримується сипуча добавка до шихти. При більшому вмісті твердих відходів, ніж в'язких – погіршуються якісні показники продуктів коксування.

Збільшення вмісту в'язких відходів коксохімічного виробництва недоцільно, оскільки отримується в'язкопластична маса, яку важко дозувати через її налипання на обладнання.

Подача у вугільну шихту суміші відходів менше 0,8% від маси шихти не вирішує проблеми утилізації відходів і практично не впливає на якісні показники продуктів коксування. Збільшення кількості твердих та в'язкотекучих відходів у вугільній шихті більше 1,0% недоцільно, оскільки спостерігається погіршення якісних показників продуктів коксування.

Реалізацію цього способу було перевірено у лабораторній печі із завантаженням шихти, у якій у якості відходів був пластик, гума, шкіра та деревина. А у якості промислових відходів – в'язкий осад смолосховища.

Змішували відходи у співвідношенні 1:1. Отриману суміш подавали у вугільну шихту у кількості 0,8 – 1,0% від маси. Шихта без додавання компонентів (базова) складалась з компонентів промислової вугільної шихти

ВАТ «ЗМСК». Піроліз проводили шляхом коксування шихти з отриманням металургійного коксу.

При введенні такої присадки в шихту до 5% якість коксу поліпшувалась, підвищувався вихід хімічних продуктів коксування на 59,6%. Аналогічні дослідження були проведені з додаванням до шихти відходів пластику та гуми у суміші з фусами (1% від маси шихти). При цьому якість коксу залишалась на необхідному рівні. Реалізація такого способу на коксохімічному виробництві дозволить без збитків для виробництва утилізувати відпрацьовані автошини та тверді полімерні відходи [10].

### **2.1.2 Використання відпрацьованих шин як присадки у вугільній шихті**

Також існує інший спосіб введення автошин у вугільну шихту для коксування. Відмінність полягає у тому, що відходи коксохімічного виробництва наносяться на резинові крихти та отриману присадку вводять у шихту взамін частини вугілля при співвідношенні марок ГЖ, Ж, вугілля марок К, ПС, КС, що дорівнює (0,28 – 0,20), (0,70 – 0,74), (0,02 – 0,06). При цьому крихти оброблених автошин модифікуються обробкою відходами хімічних цехів КХВ, пилом УСТК у співвідношенні 1:1:3 протягом 0,5 – 1,0 год при температурі 20 - 30°C.

Нове технічне рішення цього методу полягає у тому, що комплексно утилізуються всі типи вуглецевовмісних, у тому числі, і в'язкотекучих відходів у діючому коксохімічному виробництві; у підвищенні виходу і якості коксу і збільшенню виходу цінних хімічних продуктів коксування – бензолу, кам'яновугільної смоли, збільшенні частки слабоспікливого вугілля у шихті для коксування, технологія дозволяє отримати сипучий матеріал, що зручний й для введення у вугільну шихту.

У якості відходів коксохімічного виробництва використовується: коксовий пил, фуси відділення конденсації, осад від очищення сховищ кам'яновугільної смоли, сховищ фракції смоли, осад від транспортування і зберігання пеку,

полімери бензольного відділення, відтоки пресування, смолисті відходи біохімічної установки, осад з аміачних колон і сховищ аміачної води.

Співвідношення змішування відходів представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

**Результати змішування гумових крихт відпрацьованих гумово – технічних виробів з відходами КХВ**

№	Найменування відходів	Агрегатний стан відходів КХВ	Густина, г/см <sup>3</sup>	Співвідношення гумової крихти: відходів КХВ: пилу УСГК	Агрегатний стан присадки
1	Осад пеку від транспортування та зберігання	Тверда маса	1,375	1:1:3	Сипуча маса
2	Осад з відстійників смоли	В'язкотекуча маса	1,279	1:1:3	Сипуча маса
3	Осад зі сховищ смоли	В'язкотекуча маса	1,279	1:1:3	-
4	Осад зі збірників антраценової фракції	Рихла, рухлива масляниста маса	1,250	2:1:1	-
5	Фуси з відділення конденсації	В'язкотекуча маса	1,320	1:1:3	-
6	Осад з аміачних колон і сховищ аміачної води	Пластична маса	1,240	2:1:3	-
7	Полімери бензольного відділення	Рідинна маса	1,115	2:1:3	-
8	Відтоки пресування	Кристалічна маса	1,150	3:1:1	-
9	Смола з БХУ	Рідинна маса	1,120	1:1:3	Сипуча маса

## Продовження табл.2.1

10	Полімери бензольного відділення	Рідинна маса	1,120	4:1:1	Шматки розміром 5 – 15 мм
----	---------------------------------	--------------	-------	-------	---------------------------

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

Характеристика резинових крихт представлена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

## Характеристика гумових крихт

Фракційний склад гумових крихт, мм	Технічний аналіз,%			Елементний склад,%				
	W <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	C <sup>daf</sup>	H <sup>daf</sup>	N <sup>daf</sup>	S <sup>daf</sup>	O <sup>daf</sup>
0 – 0,63	1,0	17,5	68,9	87,51	8,02	1,08	1,37	2,02
0,8 – 1,5	1,0	5,0	68,6	-	-	-	-	-
0 – 2,5	0,5	2,7	68,4	88,82	7,61	0,51	1,30	1,76
2,5 – 5,0	0,9	3,9	67,6	-	-	-	-	-

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

Відходи коксохімічного виробництва змішуються з гумовою крихтою фракційного складу 0 – 2,5 мм у шаровому млин. Оскільки присадка з відношенням компонентів 3:1:1 підвищує вихід летючих речовин, оптимальний вміст компонентів 1:1:3. При перемішуванні менш <0,5 год не досягається однорідність маси присадки в шихту, а час перемішування більше 1 год є недоцільним, оскільки маса присадки не змінює свого агрегатного стану, при температурах вище 30°C має місце агрегування гумової крихти і модифікованого агенту у крупні конгломерати >5 мм. Випробування проводились коксуванням базової та дослідної шихти у лабораторній печі із завантаженням шихти 2 кг.

Якість шихти зображена у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

## Склад та якість шихти

Досліди	Склад шихти				Якість шихти			
	Вугілля марок ГЖ, Ж	Вугілля марок К, ПС, КС	Присадка (гумові крихти, відходи КХВ та пил УСГК)	Присадка (гумові крихти та відходи КХВ)	A <sup>d</sup>	V <sup>d</sup>	у, мм	S <sub>t</sub> <sup>d</sup> , %
1	0,25	0,75	-		8,0	25,6	15	0,39
2	0,28	0,70	0,02		8,0	25,2	16	0,40
3	0,26	0,71	0,03		8,0	25,0	15	0,39
4	0,20	0,74	0,06		8,1	24,5	14	0,39
5	0,18	0,75	0,07		8,2	24,3	14	0,40
6	0,20	0,73	0,07		8,2	24,4	14	0,40
7	0,25	0,73		0,02	8,0	25,9	16	0,40
8	0,25	0,72		0,03	8,0	26,1	15	0,40
Прототип	0,375	0,575	0,05		8,3	25,1	15	0,39

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

Базова шихта складалась з компонентів виробничої шихти ОАО «ЗМСК». У якості досліджуваного матеріалу використовувалась шинні крихти розміром 0 – 2,5 мм, котра модифікувалась при змішенні відходами коксохімічного виробництва і вводилась у вугільну шихту у кількості від 2 до 7 мас.% вугільної шихти. Результати сумісного коксування вугілля, відходів КХВ, резинової крихти і коксового пилу УСГК представлено у таблиці 2,4.

Таблиця 2.4

## Вихід та якість коксу

Досліди	Вихід коксу, %		Якість коксу					
	Валовий	Класи крупності	Технічний аналіз			міцність		
			A <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	
		+40	+25					

Продовження табл.2.4

1	77,8	76,5	91,0	10,5	1,3	0,41	89,8	6,5
2	78,3	77,1	92,0	10,5	1,2	0,42	91,5	6,4
3	78,5	79,5	94,3	10,6	1,3	0,41	93,7	6,0
4	78,7	80,0	93,8	10,5	1,3	0,41	89,9	6,6
5	78,5	80,2	93,9	10,5	1,3	0,42	89,1	6,9
6	78,4	80,1	93,6	10,6	1,2	0,42	89,3	7,0
7	77,6	76,9	91,8	10,3	1,3	0,42	90,9	6,5
8	77,3	78,9	94,0	10,1	1,2	0,43	92,5	6,0
0	77,1	79,6	93,7	9,8	1,3	0,45	89,8	6,5
Прототип	78,3	76,9	90,5	10,9	1,3	0,41	88,5	7,0

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

При проведенні коксування дослідної шихти з присадкою та базової було виявлено, що з шихти складу: вугілля марок ГЖ, Ж, вугілля марок К, ПС, КС – був отриманий кокс, який за виходом та якістю переважає кокс з базової шихти. Кокс з експериментальних шихт характеризувався наступними показниками якості: вихід валового коксу складав 78,3 – 78,7%, вихід класів: + 40 мм - 77,1 - 80%; + 25 мм – 92,0 – 94,3%; механічна міцність за показниками  $M_{25}$  та  $M_{10}$  склала 89,6 – 93,7%; 6,0 – 6,6%. Всі ці показники відповідають вимогам стандартів.

При збільшенні присадки в шихті до 7% показники якості коксу погіршуються.

Відповідно, кокс отриманий з шихт зі співвідношенням компонентів: (вугілля марок ГЖ, Ж) : (вугілля марок К, ОС, КС) : (присадка), рівним (0,28 – 0,20) : (0,70 – 0,74) : (0,02 – 0,06), за показниками якості задовольняє вимоги стандартів, зі збільшенням виходу валового коксу, коксу класів +40 мм, +25 мм

Відповідно, при застосуванні даної технології спостерігається.

- 1) вихід металургійного коксу та збільшення його механічної міцності.
- 2) Знижується вартість шихти
- 3) Розширюється сировинна база коксування
- 4) Утилізуються в'язкі відходи КХВ, коксовий пил УСГК та автошини.

Також даний спосіб можна застосовувати на всіх коксохімічних виробництвах при підготовці вугільної шихти до коксування для виробництва металургійного коксу [11].

### **2.1.3 Піроліз автошин, як метод підвищення калорійності коксового газу та виходу рідких продуктів коксування**

З підвищенням температури піролізу ВАШ (використаних автомобільних шин) зростає вміст ароматичних сполук у рідких продуктах. Дослідне коксування вугілля спільно з гумовою крихтою (до 7 %) показало збільшення виходу сирого бензолу і смоли в 1,5-2 рази порівняно зі стандартною шихтою.

У зв'язку з цим пропонується використовувати вільні камери коксової батареї для коксування ВАШ, спрямовуючи парогазові продукти їхнього піролізу в загальний газозбірник прямого коксового газу. Це дозволить:

- 1) Не погіршувати якість коксу.
- 2) Позитивно впливати на склад парогазових продуктів коксування вугільних шихт.
- 3) Переробляти ВАШ без попереднього дроблення і в кількостях, що забезпечують економічну доцільність розв'язання великомасштабної екологічної проблеми - утилізації зношених автомобільних шин.

При цьому пропонується завантажувати цілі шини в спеціально звільнені камери коксової батареї, для чого використовувати спеціальну направляючу, яка, завдяки наявності необхідного кута нахилу, сприяє мимовільному руху матеріалу всередині камери. У результаті теплового удару (950-1050 °С) шини повністю руйнуються і піддаються піролізу з високою швидкістю, що забезпечує швидко евакуацію парогазових продуктів з коксової камери і збільшує ймовірність збереження первинних продуктів піролізу. Тверда фаза, що являє собою сипучий кусковий матеріал, зсипається в спеціальний приймальний пристрій на коксовій стороні.

Годинна продуктивність однієї 17-метрової камери може досягати 3 т шин. При цьому утворюється близько 700-800 м<sup>3</sup> газу, до 1 т рідких продуктів і 1,5 т технічного вуглецю. Переробка ВАШ у розрахунку на одну камеру коксової батареї може становити понад 25 тис. т на рік. У зв'язку з цим очікується, що утилізація ВАШ описаним способом призведе до поліпшення економічних показників коксохімічного виробництва.

Парогазові продукти піролізу ВАШ спрямовують у газозбірник і далі за звичайною схемою уловлювання і переробки прямого коксового газу. Таким чином, пропонована технологія повністю поєднується з наявною інфраструктурою уловлювання і фракціонування парогазових продуктів на коксохімічному підприємстві.

Твердий залишок піролізу ВАШ, що вивантажується з камери при температурі близько 1000 °С, можна загасити водою і після відділення залізного дроту реалізувати як бездимне тверде паливо із зольністю 10-15 %. Однак у зв'язку з труднощами поділу компонентів твердого залишку і низькою якістю одержуваних продуктів, більш технологічним і економічно доцільним є нагрівання його до температури плавлення заліза і мінеральних складових. Тоді вуглець повністю звільняється від летких речовин, мінеральних сполук і сірки, а розплав мимовільно розділяється на металевий і шлаковий шари, які періодично видаляються. Метал отримують у вигляді злитків, що робить його реалізацію більш вигідною.

Досягти високої температури, достатньої для плавлення заліза і мінеральних складових (1600°С), а також зберегти летючі продукти піролізу можливо за допомогою використання електроенергії, як джерела тепла.

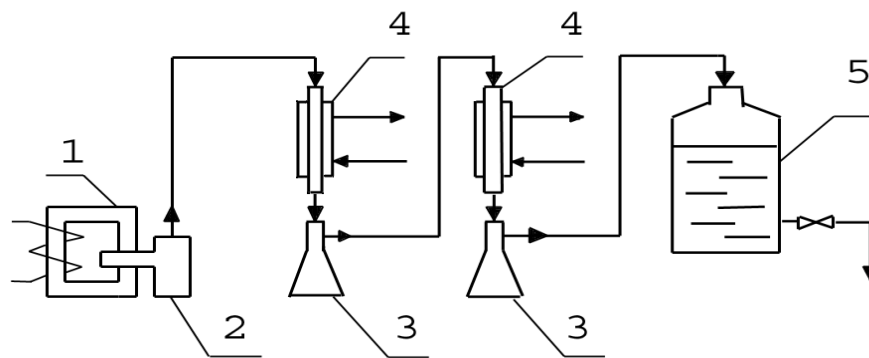
Відомі способи піролізу ВАШ при нагріванні їх мікрохвильовими променями. Спосіб не набув широкого поширення через високу вартість обладнання, малу потужність і періодичність процесу.

За аналогією з піролізом ВАШ у змінному магнітному полі низької (промислової) частоти, твердий залишок із коксової камери спрямовується в спеціальний приймальний пристрій. У дні пристрою знаходиться індукційний

каналний нагрівач. Струми великої сили, що виникають, розігрівають залізний дріт і вуглець і від них - мінеральні компоненти ВАШ. Зі зростанням температури дріт і мінеральні компоненти плавляться, а сажа спливає на поверхню розплаву. На дні пристрою розплав розділяється на шари металу, шлаку і сажі, які періодично видаляються.

За температури плавлення шлаку (1500 °С) оксид цинку відновлюється вуглецем і виділяється у вигляді парів цинку. На багатьох зарубіжних виробництвах застосовується технологія уловлювання цинку у вигляді цинкового пилю - до 100 т на рік. Звільнений від цинку шлак являє собою склоподібний силікат кальцію, який можна використовувати в будівництві як наповнювач легких бетонів.

Для з'ясування доцільності низькочастотного індукційного способу плавлення твердих продуктів піролізу ВАШ і подальшого складання матеріального балансу процесу, було створено дослідну лабораторну установку, яка зображена на рис. 2.1.



**Рис. 2.1** Схема лабораторної установки піролізу

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

Пристрій нагріву, що моделює індукційну каналну піч, складається з трансформатора 1, первинна обмотки, яка підключена до мережі змінного струму (220 В, 50 Гц). Індукційний нагрівач для плавлення твердого залишку, виконаний з вогнетривких матеріалів, є одночасно реактором піролізу. При цьому ВАШ зі сталевим кордом одягаються на ярмо трансформатора як вторинна

короткозамкнена обмотка. Гази піролізу, що утворюються в реакторі, через холодильники 4 відводяться в газозбірник 5. Рідкі продукти піролізу, що конденсуються при охолодженні газу, збираються в збірниках 3. Температуру в реакторі вимірювали термопарою.

Процес піролізу проводили протягом 100 хв. за збільшення температури в реакторі з 17 до 1630 °С. У результаті експерименту було отримано тверді, рідкі та газоподібні продукти, що зображені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

### Матеріальний баланс піролізу ВАШ

Прихід			Витрата		
	г	%		г	%
			Вуглець	558,1	34,76
Використані автошини	1309,4	100	Метал та шлак	130,9	10,00
			Конденсат	428,0	32,68
			Газ	290,4	22,56
Всього	1309,4	100	Всього	1309,4	100

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

Після охолодження твердий залишок є склоподібним чорним матеріалом із включеннями дрібних залізних злитків у нижній частині, а зверху міститься дрібнодисперсний вуглець.

Конденсат, що утворюється, складається з двох шарів рідини: верхній, легший, темно-коричневого кольору з густиною 0,86-0,89 г/см<sup>3</sup> - «синтетична нафта», і нижній, прозоріший - вода. Наявність води можна пояснити утворенням піролітичної води. Слід зазначити, що на дні колби з отриманим конденсатом утворюється наліт світло-коричневого, жовтуватого кольору, який з часом темніє. Можливо, у колбі відбувається полімеризація найбільш важких ненасичених вуглеводнів. З концентрованою сірчаною кислотою конденсат осмолюється - з'являються грудки густої темної смоли, які відстоюються від жовтуватої прозорої рідини. Таким чином, у конденсаті присутні як ненасичені,

так і граничні вуглеводні. Через кілька днів на дні колби з конденсатом з'являються жовті кристали сірки.

Газоподібні продукти піролізу представлені в основному ненасиченими вуглеводнями. Фракційний склад рідких продуктів піролізу показано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

### Фракційний склад рідких продуктів піролізу

Назва	Значення
Густина	0,89 г/см <sup>3</sup>
Бромне число	73,6
Вміст сірки	0,415 %
Фракційна розгонка, % при температурі, °С	
Початок кипіння	59°С
10%	118°С
20%	160°С
30%	190°С
40%	234°С
50%	258°С
70%	338°С
84%	350°С
Кінець кипіння	350°С
Залишок від розгонки	16%

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

З балансу сірки випливає, що її основна частина міститься у газі і може бути уловлена в цеху сіркоочищення.

Бромне число вказує на те, що значна частина вуглеводнів представлена ненасиченими сполуками і може бути виділена на коксохімічному виробництві як цільові продукти. Водночас кваліфіковане використання рідких продуктів

піролізу ВАШ можливе у вигляді моторного палива після гідроочищення окремих фракцій.

Слід звернути увагу на те, що навіть після виділення ненасичених вуглеводнів теплота згоряння коксового газу зростає за рахунок збільшення вмісту метану, що покращує енергетичний баланс коксохімічного виробництва. Крім того, технічний вуглець можна брикетувати з мінімальними витратами або використовувати на ТЕЦ як енергетичне паливо. За даними сірчистість твердого залишку на рівні 0,52 % зумовлена вмістом сульфідів і сульфатів у мінеральному компоненті. Тому технічний вуглець може бути використаний як паливо без додаткового очищення [12].

## **2.2 Вибір та обґрунтування технології внесення автомобільних шин з металокордом у шихту для коксування**

Для здешевлення та спрощення утилізації відпрацьованих гумових виробів з металокордом в шихті для коксування з метою підвищення якості та виходу металургійного коксу та хімічних продуктів коксування використовується наступний спосіб, який включає використання використаних автомобільних шин з металокордом. Шини подрібнюють до крупності 3 – 0 мм, що прийнята для компонентів вугільної шихти, і подають після подрібнення у вугільну шихту на коксування без вилучення металокорду у кількості до 4% від маси шихти при вмісті золи в шихті не більше 10%, що збільшує вихід і якість металургійного коксу та хімічних продуктів коксування.

Технічний результат, що був досягнутий за допомогою даного способу, наступний:

- 1) Більш кваліфіковано, зі зменшенням витрат на вилучення металокорду утилізуються оброблені автомобільні шини з отриманням металургійного коксу та цінних хімічних продуктів.
- 2) Підвищується вихід і якість металургійного коксу.
- 3) Збільшується вихід коксохімічного бензолу та кам'яновугільної смоли.

- 4) Кваліфіковано та більш ефективно очищаються відхідні гази піролізу автомобільних шин сумісно з продуктами коксування у цехах уловлювання і переробки хімічних продуктів коксування.
- 5) Переробляються також інші типи гумових виробів, які утворилися на місці їх найбільшого утворення на металургійних підприємствах (транспортні стрічки, тощо).
- 6) Спрощується технологія утилізації відпрацьованих гумових виробів з металокордом.
- 7) Виключаються капітальні витрати на будівництво установок з піролізу відпрацьованих гумових виробів, так як використовується обладнання коксохімічного виробництва.

Сукупність суттєвих ознак: крупності та певного відсоткового вмісту відпрацьованих гумових виробів у шихті на коксування дозволяють вирішити завдання їх кваліфікованої масштабної утилізації з отриманням технічного ефекту, що полягає у покращенні міцнісних характеристик коксу, збільшенню виходу цінних хімічних продуктів коксування. Це дозволяє висвітлити суттєвість відмінностей запропонованого винаходу і задовільненню критерій.

Для використання відпрацьованих гумових виробів з металокордом в шихті вони повинні бути подрібнені одним з наступних існуючих методів подрібнення гуми (механічним, криогенним, під тиском). У якості досліджуваного матеріалу використовувались гумові крихти, що були отримані подрібненням відпрацьованих автопокришок з металокордом механічним способом до крупності 3 – 0 мм, що прийнята для компонентів вугільної шихти. Використання більш крупних частинок відпрацьованих гумових виробів призводить до погіршення якості отриманого коксу, що показано у таблиці 2.7

Таблиця 2.7

### Якість отриманого коксу

Приклад	Технічний аналіз	Валовий кокс, %		Міцність	
		Вихід	Гранулометричний склад	Механічна	Структурна

Продовження табл. 2.7

	A <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>		+60	60 – 40	40 – 25	25 – 10	0- 10	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	M <sub>c</sub>
0	11,4	1,7	78,0	4,1	62,0	28,4	1,6	3,9	89,7	7,7	78,0
1	12,4	1,6	77,9	10,4	76,6	8,3	0,8	3,9	92,9	6,3	78,5
2	12,6	1,6	77,8	12,1	74,4	8,7	0,7	4,2	90,2	7,1	78,2
3	12,8	1,5	77,7	13,5	72,2	9,1	0,7	4,5	91,4	8,0	77,8
4	13,3	1,4	77,5	16,6	67,9	10,0	0,5	0,5	90,0	9,8	77,1
5	12,2	1,5	77,6	9,8	75,8	8,5	0,8	0,8	91,6	7,8	77,6

Примітка. Джерело. Розроблено з використанням: [13].

Фізико- хімічні властивості гумової крихти з металокордом наведені у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

### Характеристика гумових крихт

Технічний аналіз, %			Елементний склад на суху, беззольну масу, %				
Волога аналітична	Зольність суха	Вихід летючих на суху беззольну	Вуглець	Водень	Азот	Сірка	Кисень
0,5	20,7	68,4	88,82	7,61	0,51	1,30	1,76

Примітка. Джерело. Розроблено з використанням: [13].

В таблиці наведені основні властивості відпрацьованих гумових виробів, з точки зору можливості їх використання, як компоненту вугільної шихти. Відпрацьовані автомобільні шини є компонентом, що складається переважно з 88,8% вуглецю та 7,61% водню. Ці дані, а також дослідження, описані в літературі, дозволяють вважати, що термічний розклад гуми призводить до утворення вуглецевих структур, хімічно сумісних з продуктами піролізу вугільного матеріалу. Крім того, відомо, що для доменного процесу присутність заліза у мінеральній частині коксу корисно, як для компонента, що підвищує плавкість золи та не потребує додаткового ошлакування флюсами і коксу, що вносить у процес отримання чавуну невелику частину металу. Це робить

можливим використання відпрацьованих гумових виробів без видалення металокорду у якості компоненту вугільної шихти у процесі виробництва металургійного коксу.

Дослідження, щодо відпрацьованих гумових виробів з металокордом у вугільній шихті проводились коксуванням базової та дослідних шихт у печі. Базова шихта складалась з компонентів виробничої шихти.

Оптимальний марочний склад шихти для виробництва високоякісного металургійного коксу складається з наступних компонентів :

- 1) спіклива основа – вугілля марок ГЖ, Ж, КЖ – 40 – 45%.
- 2) коксова група – вугілля марок К, КО, ОС – 35 – 40%.
- 3) пісна присадка – вугілля марок КСН, КС – 15 – 20%.

Такий склад забезпечує оптимальну якість шихти: вихід летючих на суху масу ( $V^d$ ) – 25,0%, товщина пластичного шару ( $y$ ) – 14 мм та більше, вміст вітриніту ( $V_t$ ) - > 60%, відбивальна здатність вітриніту ( $R_o$ ) - >1,12%.

На практиці важко витримати оптимальний склад шихти через дефіцит окремих марок вугілля та неритмічних поставок. Тому, зазвичай складають шихти, що дають при коксуванні як мінімум задовільний за якістю кокс.

Для отримання експериментальних шихт подрібнені автомобільні шини з металокордом вводились у базову шихту, як заміна частини вугільного компонента у кількості 3 – 7% від маси шихти. Частка металокорду у відпрацьованих гумових виробках складала 20%, що і відповідає вмісту цього компоненту в автошинах.

За отриманими результатами було виявлено, що додавання в шихту автомобільних шин, збільшило її зольність з 8,3 (базова шихта) до 10,5 (шихта, що містить 7% добавки). Відповідно, збільшилася зольність отриманого коксу з – 11,4 до 13,3%. Збільшення зольності відбулося за рахунок металокорду, котрий є корисним компонентом у коксі для доменної плавки. Товщина пластичного шару шихти ( $y$ ) залишилась на рівні 15 – 16 мм, усадка ( $x$ ) дещо збільшилася. Кокс з шихт з гумою та металокордом характеризується високим виходом крупних класів. Додавання відпрацьованих гумових виробів з

металокордом в шихту у кількості до 4% покращує міцнісні властивості ( $M_{25}$ ,  $M_{10}$ ,  $M_c$ ) отриманого коксу. Він характеризується наступними показниками якості, %: вихід класу + 40 мм = 86,5; вихід коксу + 25 мм = 95,2; міцність коксу по  $M_{25}$  = 92,2; стиранисть  $M_{10}$  = 7,1; структурна міцність  $P_c$  = 78,2, тобто у порівнянні з базовим коксом ці показники покращились, %: вихід класу + 40 мм – на 20,4; вихід класу + 25 мм – на 0,7;  $M_{25}$  – на 2,5;  $M_{10}$  – на 0,6;  $M_c$  – на 0,2.

Реакційна здатність коксу збільшилась незначно: з 0,40 до 0,46  $\text{cm}^2/\text{г}\cdot\text{с}$ .

Подальше підвищення вмісту відпрацьованих автошин з металокордом у шихті ( вище 4% ) призводить до збільшення стиранисті коксу ( показник  $M_{10}$  ) і зниженню структурної міцності ( показник  $M_c$  ). Це пов'язано з підвищенням зольності шихти. Відповідно, при вмісту відпрацьованих гумових виробів з металокордом у шихті до 4% і зольності шихти до 10,0% отримується кокс підвищеної міцності зі збільшенням виходу крупних класів.

Також введення відпрацьованих гумових виробів з металокордом у вугільну шихту підвищує вихід цінних хімічних продуктів коксування : смоли та сирого бензолу. Даний спосіб промислово придатний на кожному коксохімічному виробництві [13].

### **3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

#### **3.1 Основні шкідливі та небезпечні чинники у вуглепідготовчому та коксовому цехах**

Коксохімічне виробництво характеризується різноманіттям технологічних процесів. З погляду можливості виникнення небезпечних та надзвичайних ситуацій, окремі об'єкти та цехи коксохімічних підприємств та виробництв характеризуються неоднаково. Шкідливий вплив коксохімічного виробництва на обслуговуючий персонал, навколишнє середовище та населення залежить, в основному, від наступних факторів:

1. Потужності підприємства.
2. Особливостей застосовуваних технологічних схем із виробництва продукції.
3. Фізичного стану основних виробничих фондів.
4. Ступеню впровадження у виробництво нових, більш досконалих технологічних схем та обладнання, засобів механізації та автоматизації, нових зносостійких матеріалів, засобів захисту обслуговуючого персоналу від несприятливих впливів технологічних процесів.
5. Своєчасного здійснення реконструкції та технічного переоснащення коксохімічних підприємств з впровадженням у виробництво прогресивних технологій та обладнання, спрямованих на поліпшення умов праці, охорону навколишнього середовища та енергозбереження.

##### **3.1.1 Вугільний пил, його безпека та шляхи зменшення викидів**

Основним шкідливим чинником у вуглепідготовчому цеху є вугільний пил. Вугільний пил схильний при зберіганні та транспортуванні до самозаймання. Небезпека самозаймання пилу зростає з підвищенням температури

навколишнього середовища і при зіткненні її з палаючими поверхнями. Зважений у повітрі пил вугілля розміром частинок менше 0,2 мм утворює з повітрям вибухонебезпечну суміш, яка за наявності джерела займання може спричинити вибух. Зменшення вологості пилу збільшує вибухонебезпечність пилоповітряної суміші. Вибухонебезпечним є пил всіх типів вугілля з виходом летких речовин на горючу масу 20% і вище. При запиленості повітря в приміщеннях вуглепідготовчого цеху в межах санітарних норм (до 10 мг/м<sup>3</sup>) та систематичного прибирання приміщень вибух пилоповітряної суміші не відбувається.

Джерелом виникнення вибуху можуть бути відкладення пилу на елементах будівельних конструкцій, технологічному обладнанні, кабелях і пристроях опалення. Особливу небезпеку становить розпушування та звирхування пилових відкладень. При появі інтенсивного джерела провокування (струс конструкцій, обрив транспортерної стрічки конвеєра, запуск машин і механізмів тощо) пилові відкладення, звихрюючись, можуть створювати пилоповітряну суміш небезпечної концентрації, через яку може статись вибух.

З метою забезпечення вибухобезпечної роботи вуглепідготовчого цеху необхідно у його приміщеннях і транспортерних галереях усувати пиління у місцях його виникнення, не допускати утворення пилових відкладень на конструкціях та устаткуванні, підтримувати заданий режим експлуатації приміщень та обладнання. Особливо вибухонебезпечними вважаються пилові відкладення газового та довгополуменевого вугілля.

Вибухонебезпечність вугільного пилу також залежить від наступних основних умов:

1. Вугільний пил повинен перебувати у зваженому стані.
2. Джерело займання повинно мати певну потужність.
3. Вміст кисню в повітрі приміщення (апарату) має бути достатнім для займання і поширення полум'я.

Вибухонебезпечність пилу також залежить від ряду інших факторів: наявність у повітрі горючих газів, ступінь вибуховості пилу, що є комплексом

природних властивостей конкретного вугілля, вміст летких речовин, золи, вуглекислоти, карбонатів і так далі. З збільшенням виходу летких речовин з вугілля вибуховість вугільного пилу зростає.

За даними Донецького випробувального сертифікаційного центру вибухозахищеного та рудничного електрообладнання, максимальна температура зовнішніх поверхонь електрообладнання, встановленого на об'єктах, небезпечних по вибуху пилів, повинна бути на 50°C нижче температури самозаймання для осілого пилу і не більше 2/3 температури самозаймання зваженого пилу.

Велику небезпеку становить самозаймання вугілля і вугільного пилу, що особливо перебувають у бункерах закритого складу вугілля, бункерах дозувального відділення та вугільної вежі. Самозаймання супроводжується виділенням токсичних газоподібних речовин, зокрема найнебезпечнішого – оксиду вуглецю. Виділення газонебезпечних речовин може призвести до вибухів і пожеж, а також викликати отруєння обслуговуючого персоналу.

У якості заходів щодо зменшення викидів вугільного пилу у атмосферу рекомендовано:

- 1) Будівництво закритих складів вугілля (де це можливо).
- 2) На відкритих складах пристрій стінок для огороження штабелів, розпилювання води і полімерних емульсій на поверхню штабелів, мінімізація висоти падіння розвантажувального у штабелі вугілля (менше 0,5 м).
- 3) Всі елементи обладнання повинні бути зачинені, запилене повітря відведене у пилоосаджувальний пристрій
- 4) Застосування закритих видів транспортних пристроїв (наприклад, трубчастих конвеєрів).

### 3.1.2 Характеристика шуму та шляхи його зменшення

Основні нормативні вимоги до шумових характеристик робочих місць об'єктів коксохімічного виробництва викладені у ДСП 3.3.1.038 – 99 і ДСП 3.3.6.037 – 99.

Рівень сили звуку чи шуму вимірюється в логарифмічних одиницях децибелах (дБ). У децибелах також визначається різниця рівнів, тобто ступінь коливання звуку чи шуму.

Надмірний шум у цехах промислових підприємств є причиною помилок, що допускаються у виробничих операціях, фактором зниження продуктивності праці, зростання травматизму внаслідок ослаблення уваги, зниження слуху, уповільнення захисних реакцій. Шум призводить до професійного травматизму - глухуватості, розвиває різні захворювання серцево - судинної системи, вражає нервову систему, знижує кислотність шлункового соку, сприяє появі гастритів і виразок шлунку. Встановлено, що шум глибоко впливає весь організм людини загалом (шумова хвороба). Шкідлива дія шуму обумовлюється його інтенсивністю та частотним складом, які суб'єктивно сприймаються як гучність шуму та висота тону. Встановлено, що при забезпеченні необхідних заходів щодо боротьби з шумом працездатність помітно підвищується.

У коксохімічному виробництві мають місце наступні шумові характеристики що зображені у таблиці 3.1, які досягають і перевищують небезпечний рівень.

Таблиця 3.1

#### Шумові характеристики

Обладнання, установки, приміщення	Рівень шуму
Жолоби, грохоти для вугілля і коксу	90
Приводи конвеєрів	94
Дозатори, вібраційні живильники під силосами та бункерами	97
Валкові дробарки, редуктори, електродвигуни	90

Продовження табл. 3.1

Дробарки остаточного подрібнення вугільної шихти	90
Вентиляційні установки	88
Кабіни коксових машин	80
Двохситові грохоти коксосортувалки	89
Щокова дробарка з грохотом для відбору проб	95
Нагнітачі коксового газу	116
Газові компресори	88 - 92
Дробарка коксу	104

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

Основними методами боротьби з виробничими шумами в даний час є:

- 1) усунення причин шуму і ослаблення його у джерелах шуму;
- 2) зменшення часу впливу шуму високого рівня на обслуговуючий персонал;
- 3) ізоляція джерел шуму від обслуговуючого персоналу або виробничого персоналу;
- 4) глушення шуму за шляхом його розповсюдження;
- 5) зменшення рівня шуму у приміщенні шляхом застосування звукопоглинаючих матеріалів і конструкцій в обробці огорож. [14].

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі детально розглянуто фізико – хімічні основи процесу коксотворення, вимоги до якісних показників та технологічних характеристик доменного коксу.

Характеризовано склад автомобільних шин та причини необхідності їх утилізації. Описано особливості технологічного оформлення процесу підготовки шин до утилізації. Визначено, що основним етапом підготовки для подальшої утилізації автошин є їх подрібнення за різними технологіями (звичайне подрібнення, криогенне та під дією різноманітних полів).

Встановлено, що найбільш екологічним способом утилізації є піроліз використаних шин, який може бути поєднаний з іншими технологіями для подальшої переробки газоподібних і рідких продуктів піролізу.

Сучасне дослідження піролізу автошин зосереджено на розгляд впливу факторів на вихід, розподіл і склад продуктів піролізу. Доведено, що піроліз автомобільних шин у коксохімічному виробництві є економічно доцільним тому, що можна використовувати наявні коксові печі, при цьому виключається необхідність побудови та встановлення нового коштовного обладнання.

Розглянуто наявні технології утилізації автомобільних шин у коксохімічному виробництві. Задля покращення екології шляхом ліквідації відвалів було описано технологію утилізації гумової крихти у поєднанні з твердими побутовими відходами. Для утилізації вуглецевмісних та в'язкотекучих відходів коксохімічного виробництва, а також разом з цим збільшити вихід бензолу під час коксування застосовується технологія утилізації шляхом змішування гумових крихт з відходами у заданому співвідношенні.

Для здешевлення та спрощення утилізації відпрацьованих гумових виробів було обрано та обґрунтовано технологію внесення автомобільних шин з металокордом у шихту для коксування, при цьому:

- 1) Більш кваліфіковано, зі зменшенням витрат на вилучення металокорду утилізуються оброблені автомобільні шини з отриманням металургійного коксу та цінних хімічних продуктів.
- 2) Підвищується вихід і якість металургійного коксу.
- 3) Збільшується вихід коксохімічного бензолу та кам'яновугільної смоли.
- 4) Кваліфіковано та більш ефективно очищаються відхідні гази піролізу автомобільних шин сумісно з продуктами коксування у цехах уловлювання і переробки хімічних продуктів коксування.
- 5) Переробляються також інші типи гумових виробів, які утворилися на місці їх найбільшого утворення на металургійних підприємствах (транспортні стрічки тощо).
- 6) Спрощується технологія утилізації відпрацьованих гумових виробів з металокордом.

Також було вивчено основні шкідливі та небезпечні чинники у вуглепідготовчому та коксовому цеху.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Справочник коксохимика: в 6 т. Харьков: Издательский дом «ИНЖЭК», 2014. Т. 2: Производство кокса/ общ. ред. Рудыки В.И., Зингермана Ю.Е. 536 с.
2. Достов Е.С., Коротков С.Г., Анищенко И.В. Влияние фракционного состава угля на качество кокса. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2019. №3. С. 36 – 40.
3. Влияние спекаемости на условия прогрева углей, реакцию способность и термомеханические свойства кокса/ Мирошниченко Д.В. и др. *Углекимический журнал*. 2003. № 3 – 4. С. 29 – 31.
4. ДСТУ4703:2022. Метод визначення індексу реакційної здатності (CRI) і міцності залишку коксу після реакції (CSR). (ISO 18894:2018, MOD). [На заміну ДСТУ4703:2006;чинний від 2023-08-01]. Вид. не офіц: Технічний комітет стандартизації «Кокс», 2022. 12с.
5. Власенко И.А., Кузин А.В. Анализ современных технологий к качеству кокса при освоении технологии пылевдувания: мат. междунар. науч.-практ. конф. Донецк, 2015. С. 6 – 8.
6. Справочник резинщика. М.: Химия, 1971. Материалы резинового производства / под общ. ред Орловский П.Н. 608с.
7. Папин А.В., Игнатова А.Ю., Макаревич Е.А. Пути утилизации отработанных автошин и анализ возможности использования технического углерода пиролиза отработанных автошин. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2015. № 2. С. 96 – 100.
8. Production and upgrading of recovered carbon black from the pyrolysis of end-of-life tires/ Sebastião M. R. Costa at al. *Materials*. 2022. №15.
9. Roy C., Chaala A., Darmstadt H. The vacuum pyrolysis of used tires End-uses for oil and carbon black products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.1999. №51 P.201 – 221с.

10. Борисенко А.Л. Термическое обезвреживание в коксовых печах отходов коксохимических предприятий. *Углекимический журнал*. 2009. № 5 – 6. С. 59 – 69.
11. Способ подготовки угольной шихты к коксованию: пат. 2186823 Российская Федерация: МПК С10В 57/06, С10В 53/08. №2000125426; заявл. 09.10.2000; опубл. 10.08.2002, Бюл. №22. 7с.
12. Утилизация изношенных автомобильных шин с использованием основного оборудования коксохимического производства/Власов Г.А и др. *Углекимический журнал*. 2003. № 3 – 4. С. 50 – 55.
13. Способ переработки отработанных резинотехнических изделий с металлокордом: пат. 2225419 Российская Федерация: МПК С08J 11/04, С10В 57/04, С08L 21/00. № 2001127324; заявл. 08.10.2001; опубл. 10.06.2003, Бюл. №16. 9с.
14. Справочник коксохимика: в : 6 т. Харьков: Издательский дом «ИНЖЭК», 2016. Т. 5: Коксохимическое производство. Проектирование, сооружение и ввод в эксплуатацию. Экологическая и промышленная безопасность / общ. Ред. Кравченко А.М, Борисова Н.Л. – 552 с.

## **ДОДАТКИ**

## Звіт подібності

## метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок

Домбров Роман Вадимович

Автор

Науковий керівник / Експерт

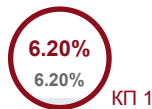
Домбров Роман Вадимович Шмельцер К.О.

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.



КП 1



КЦ

25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

9697

Кількість слів

72450

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	Б	4
Інтервали	A→	0
Мікропробіли	␣	0
Білі знаки	Б	0
Парафрази (SmartMarks)	a	54

## 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="https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/fbtegp_2019_netpub.pdf">https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/fbtegp_2019_netpub.pdf</a>	43 0.44 %
2	<a href="https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/247.pdf">https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/247.pdf</a>	39 0.40 %
3	<a href="https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/247.pdf">https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/247.pdf</a>	29 0.30 %
4	2016_805130102_Soltys_Mykhailo_Iaroslavovych_39718 10/25/2024 National University "Lviv Politechnika" (National University Lviv Politechnika)	28 0.29 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача-випускника

Домбров Роман Вадимович  
(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 можливості утилізації автомобільних шин в коксовому виробництві

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

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту ( роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Десна Н.А.	зарах	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 Домброва Романа Вадимовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-21

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Вивчення можливості утилізації автомобільних шин в коксовому  
виробництві

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>54;</u>
таблиць	<u>9;</u>
схем і рисунків	<u>4;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

**Якісні відмінності кваліфікаційної роботи** бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена питанню вивчення можливості  
утилізації відпрацьованих автомобільних шин в коксовому виробництві.

В кваліфікаційній роботі на основі огляду літературних джерел були  
розглянуті різні технології підготовки автомобільних шин до піролізу,  
проаналізоване обладнання і технологічні особливості подрібнення.

Проведений аналіз продуктів піролізу автомобільних шин в лабораторних і  
дослідно-промислових умовах, запропоновані схеми поєднання автомобільних  
шин з відходами коксохімічного виробництва для спільної утилізації у вугільних  
шихтах. Наведені результати експериментів по додаванню різної кількості  
автомобільної гуми у шихти різного складу, та якісні характеристики коксу.  
Проаналізовано переваги і недоліки такого методу утилізації автмобільних  
шин, шляхи подолання технологічних складностей та окреслені вимоги до  
обладнання, яке доцільно використовувати при коксуванні.

Представлені результати впровадження схеми утилізації відпрацьованих  
автомобільних шин додаванням підготовленої гумової крихти у вугільну шихту  
з оцінкою якості отриманого доменного коксу.

**Недоліки кваліфікаційної роботи** бакалавра

(бакалавра, магістра)

В роботі не проведений огляд засобів подачі гуми автомобільних шин у вугільну шихту та не наведені характеристики обладнання, що застосовується для цієї операції.

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**

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

**Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра**

Розроблені рішення та рекомендації по впровадженні технології утилізації відпрацьованих автомобільних шин в шихтах для коксування дозволять отримувати високоякісний кокс а утилізувати великі кількості вуглецевих відходів результати кваліфікаційної роботи можуть бути впровадженні на працюючих коксових батареях без їх реконструкції, можуть застосовуватися для КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

**Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра**

Керівник Десна Наталя Анатоліївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

« 2 » 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 Домброва Романа Вадимовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи
<b>Тема кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Вивчення можливості утилізації автомобільних шин в коксовому виробництві</u>
<b>Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Вибір та обґрунтування технології утилізації автомобільних шин в коксохімічному виробництві</u>
<b>Переваги кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Проаналізовані існуючі технології підготовки і утилізації відпрацьованих автомобільних шин з метою самостійного піролізу та додаванням у вугільні шихти разом з відходами коксохімічного виробництва. Наведено технологічні обґрунтовані рекомендації щодо впровадження таких технологій у виробництво.</u>
<b>Недоліки кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Недостатньо розкриті питання устаткування підготовки автомобільних шин до подачі у вугільну шихту для коксування та не наведено досвід впровадження технології утилізації.</u>
<b>Рекомендації:</b> <u>робота може бути рекомендована до захисту.</u>
Рецензент <u>Шеллевер Катерина Васівна</u> (прізвище, ім'я та по-батькові)

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

Шеллевер  
(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 можливості утилізації автомобільних шин в коксовому виробництві  
(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Домбров Роман Вадимович  
(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії  
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 54 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 6,20 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК  
(подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії  
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

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

Керівник підрозділу

  
(підпис)

К. Шмельцер

Дата «13» червня 2025 р.

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

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

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

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

13.06.2025



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

Я, Домбров Роман Вадимович, здобувач 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

  
\_\_\_\_\_

Р. Домбров