

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

Кучмана Олександра Миколайовича

на тему Вибір методики визначення оптимального ступеню подрібнення шихти для оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів

за матеріалами КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

науковий керівник К.Т.Н.

_____ Шмельцер К.О.
(підпис)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри
від 12.06.2026 р. № 16

Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент

К.О. Шмельцер

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

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Хімічних технологій та інженерії

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

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кучмана Олександра Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вибір методики визначення оптимального ступеню подрібнення шихти для оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Шмельцер Катерина Олегівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу №227-ст від «6» квітня 2026 р.

2.Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026р.

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: аналіз сучасного стану сировинної бази коксування та ролі процесу подрібнення у технології підготовки вугільних шихт. Вплив ступеня подрібнення на гранулометричний склад шихти, насипну густину, продуктивність вуглепідготовчих цехів та якість доменного коксу. Аналіз існуючих методик визначення оптимального ступеня подрібнення вугільних шихт, їх переваг, недоліків та області практичного застосування.

4.2 Основна частина: Вибір та обґрунтування найбільш ефективної методики визначення оптимального ступеня подрібнення для умов роботи сучасних вуглепідготовчих цехів. Розрахунок оптимального ступеня подрібнення для дослідної вугільної шихти. Оцінка вплив обраного рівня подрібнення на показники підготовки шихти, енерговитрати процесу дроблення та якість коксу. Розробка практичних рекомендації щодо застосування обраної методики для оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів коксохімічних підприємств.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Завданням графічний матеріал не передбачений
6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Шмельцер К.О., доцент		
2 Основна частина	Шмельцер К.О., доцент		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.2026	
2.	Основна частина	26.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.05.2026	
4.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
5.	Захист роботи в ЕК	16.06.2026	

Здобувач

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Кучман О.М. Вибір методики визначення оптимального ступеню подрібнення шихти для оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу розрахункових методів визначення оптимального ступеня подрібнення вугільних шихт у сучасних умовах роботи коксохімічних підприємств.

Актуальність дослідження обумовлена погіршенням якості сировинної бази коксування, збільшенням частки імпортного вугілля та необхідністю забезпечення стабільної якості доменного коксу за одночасного підвищення енергоефективності процесів підготовки шихти.

У роботі розглянуто вплив ступеня подрібнення на насипну щільність шихти, формування коксового пирога та показники якості коксу. Показано, що як недостатній, так і надмірний помел негативно впливають на коксівні властивості шихти та механічну міцність коксу. Встановлено, що зміна ступеня подрібнення суттєво впливає на насипну щільність вугільної шихти, а отже — на умови завантаження камер коксування та перебіг технологічного процесу.

Проведено аналіз існуючих розрахункових методів визначення оптимального ступеня подрібнення та встановлено їх переваги, недоліки й обмеження практичного застосування. Визначено, що найбільш ефективним є підхід, який враховує спікливість шихти, розподіл зольності за класами крупності та глибину збагачення вугілля.

Для досліджуваної шихти з урахуванням вибіркового подрібнення встановлено оптимальний рівень помелу, що становить 76,8 %. Показано, що застосування розрахованого режиму забезпечує зниження питомих витрат електроенергії на подрібнення з 1,26 до 0,96 кВт·год/т. Отримані результати

підтверджують доцільність використання розрахункових методів як інструменту підвищення якості коксу та удосконалення технології підготовки вугільних шихт.

Ключові слова: вугільні концентрати, шихта, оптимум подрібнення, ступінь подрібнення, розрахунковий метод.

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологічні схеми подрібнення вугільних концентратів

1.2 Існуючі схеми підготовки вугільних шихт

1.3 Аналіз впливу крупності подрібнення вугільної шихти на якість доменного коксу

1.4 Вплив ступеня подрібнення на насипну щільність шихти

1.5 Зміна петрографічного складу шихти при її подрібненні

1.6 Залежність міцності коксу від рівня подрібнення вугільної шихти

1.7 Оптимальний рівень подрібнення вугільної шихти за економічними показниками коксохімічного виробництва

1.8 Висновки до аналітичної частини

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Методи визначення оптимального рівня подрібнення вугільної шихти

2.1.1 Розрахунок рівня подрібнення з урахуванням ступеня змішування шихти

2.1.2 Визначення оптимальної крупності за марочним та петрографічним складом вугільної шихти

2.1.3 Визначення оптимального рівня подрібнення вугільної шихти з положень ВУХІНа та ДМетІ

2.2 Розрахунок оптимального рівня подрібнення вугільної шихти

2.3 Розрахунок основних технологічних показників, які обумовлюють економічну ефективність

2.4 Висновки до основної частини

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

В даний час сировинна база коксування коксохімічних підприємств України має стійкий міжбасейновий характер, при чому частка українського вугілля постійно зменшується, а якість коксу за показниками міцності (M_{25} та M_{10}) погіршується. В цих умовах зростає актуальність вдосконалення технології підготовки вугільних шихт для коксування, який полягає в розробці методів та технологічних заходів, спрямованих на оптимізацію ступеня подрібнення шихти.

Подрібнення вугілля є однією з основних технологічних операцій при підготовці його до коксування і визначає найважливіші техніко-економічні показники коксохімічного виробництва – якість коксу і продуктивність коксових батарей.

Важливим аспектом підвищення ефективності технології підготовки вугільної шихти в сучасних нестабільних сировинних і технологічних умовах роботи коксохімічних підприємств є застосування розрахункових методів, які дозволяють оперативно визначати оптимальний ступінь подрібнення.

Разом з тим існуючі підходи до визначення раціонального рівня подрібнення не завжди враховують особливості петрографічного складу вугілля, його технологічні властивості, гранулометричну характеристику окремих компонентів шихти та їх вплив на формування структури коксового пирога. Це знижує точність прогнозування результатів та ускладнює прийняття технологічних рішень в умовах змінної сировинної бази.

У зв'язку з цим актуальним завданням є вибір найбільш обґрунтованого та адаптивного розрахункового методу визначення оптимального ступеня подрібнення, який забезпечує стабільну якість коксу за мінімальних енерговитрат на подрібнення та збереження продуктивності коксових батарей.

Метою даної роботи є аналіз існуючих розрахункових методів визначення оптимального ступеня подрібнення вугільних шихт, оцінка їх переваг,

недоліків і меж застосування, а також вибір найбільш ефективного методу для використання в сучасних умовах роботи коксохімічних підприємств.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологічні схеми подрібнення вугільних концентратів

Відомо, що твердість, крихкість і дробимість неоднакові у вугілля різних родовищ, і залежать від ступеня метаморфізму і петрографічного складу.

Процес подрібнення шматків вугілля відбувається в основному в площинах нашарування і по тріщинах кліважу, а також по границях вугілля - мінеральних включеннях. В останньому випадку відбувається так назване «розкриття» мінеральних включень і навіть їхнє відокремлення від вугілля.

Однак сама основна зміна властивостей маси вугільних зерен при подрібненні відбувається в результаті зміни її насипної маси і зовнішньої питомої поверхні.

Подрібнення вугілля є необхідною операцією в процесі підготовки шихти для коксування. Ця операція здійснюється в вуглепідготовчому цеху і розділяється на дві стадії - попереднє подрібнення вугілля (50-80 або 100 мм крупністю) і остаточне подрібнення.

Помел показує, до яких розмірів подрібнена основна маса вугілля або шихти.

Ступінь помелу (ступінь подрібнення) визначає частку (%) певного класу в загальній масі шихти. У цей час ступінь подрібнення вугілля і його гранулометричний склад характеризується вмістом класів (мм) 0 - 0,25; 0 - 0,5; 0 - 3 ; і >6.

Подрібнення вугілля і шихт перед коксуванням здійснюється для того, щоб забезпечити в кожному найменшому обсязі вугільного завантаження, що міститься в пластичному шарі, присутність зерен всіх компонентів шихти. Верхня межа крупності зерен подрібненої шихти повинна бути такою, щоб зерна максимального розміру всіх компонентів шихти містилися в пластичному шарі вугільного завантаження. Так, якщо товщина пластичного шару в

коксівій камері становить 28 - 30 мм і число компонентів шихти дорівнює 4, то максимальний розмір зерна повинен бути 7 - 7,5 мм.

Дослідження останніх років показали, що ні шихту, ні окремі її компоненти не слід подрібнювати занадто тонко в погоні за зниженням максимального розміру зерна, тому що при цьому утворюється досить велика кількість дуже дрібних класів, що негативно впливає на коксівність шихти. Тому варто говорити про оптимальний гранулометричний склад шихти, тобто найкраще співвідношенні різних класів крупності, що забезпечує більш високу її коксівність.

Ступінь подрібнення і характеристика подрібненого вугілля залежить, від властивостей вугілля, конструктивних особливостей і параметрів дробильних апаратів.

Насипна маса шихти прямо залежить від ступеню подрібнювання шихти (помелу) і це пояснено фізичними параметрами.

Підвищення насипної маси означає, що в одиниці об'єму вугільного завантаження міститься більша кількість вугільної речовини, тобто зерна вугілля більш щільно укладаються в просторі. Це можливо в тому випадку, коли сипучий матеріал представлений зернами різних розмірів. Тоді, більш дрібні зерна укладаються в проміжках між крупнішими, а ще більш дрібні - між ними. Таким чином, досягається більше заповнення простору матеріалом вугілля.

У процесі подрібнення вугільної шихти схема подрібнення і застосовуване устаткування мають важливе значення, тому що з одного і того ж вугілля при різному його подрібненні можна одержати кокс різної механічної міцності і кусковатості.

Основним засобом для поліпшення спіклівості і коксівності вугілля є їхнє глибоке збагачення. У результаті цього процесу не тільки зменшується вміст мінеральних речовин, але і поліпшується петрографічний склад вугілля. Разом з тим при наступному подрібненні збагачена маса вугілля, розділяючись на класи крупності, як правило, розподіляється в них не рівномірно.

Крупні класи утворюються з більше твердої частини вугільного матеріалу (мінеральні речовини, дюритові включення). Чим більше неоднорідні за своїм складом великі класи, тим більше вони відрізняються за властивостями від іншої маси вугілля, будучи причиною погіршення спікливості і коксівності вугілля. Нерівномірність розподілу вугільного матеріалу за класами крупності при подрібненні вугільних шихт підсилюється в результаті різної дробимості їхніх компонентів. Звести до мінімуму вплив зазначеного недоліку можна за рахунок раціонального подрібнювання вугілля перед коксуванням.

При тому самому рівні подрібнювання (за вмістом класу менше 3 мм) різні схеми і застосовуване устаткування можуть давати в кінцевому продукті різний вміст тонких класів.

Головним, що визначає розходження схем і устаткування з погляду їхньої ефективності для поліпшення якості коксу, є розподіл вугільного матеріалу за класами крупності в кінцевому продукті - шихті.

При всьому різноманітті схем остаточного подрібнювання вугілля їх можна розділити на просте, диференційоване і вибіркове подрібнювання перед коксуванням.

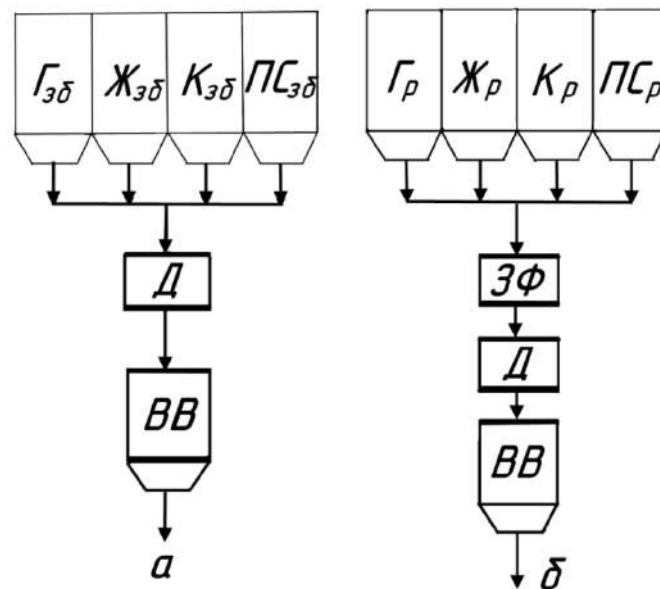
1.2 Існуючі схеми підготовки вугільних шихт

Схема ланцюгів апаратів вуглепідготовчого цеху визначається місцезнаходженням у ній відділення остаточного подрібнення. У зв'язку з цим в коксохімічній промисловості історично склалися наступні найменування основних схем підготовки вугілля до коксування:

- 1) недиференційне подрібнення;
- 2) диференційне подрібнення;
- 3) вибіркове подрібнення.

Просте подрібнювання шихти полягає в тому, що в дробильному пристрої подрібнюються все компоненти, що входять до її складу. Така схема називається ДШ - подрібнення шихти. За цією схемою тверді компоненти

подрібнюються крупніше, а легкодробимі дрібніше. Відомо, що найбільш твердими є газове вугілля, і тому при спільному подрібнюванні їх з м'яким вугіллям в готовій шихті вони будуть представлені більшими часточками. крупні класи подрібненої в такий спосіб шихти мали більш високий вихід летючих речовин у порівнянні із дрібними класами (різниця близько 10%). Тому при подрібнюванні всієї шихти доводилося налаштовувати дробарні пристрої по найбільш міцному компоненту, у результаті чого інші, менш міцні компоненти, переподрібнювалися, і вміст класу 0 - 0,5 мм доходив до 60%.



а – схема ДШ при використанні збагаченого вугілля, б – схема ДШ при використанні рядового вугілля; Д – дроблення, ВВ – вугільна вежа,

ЗФ – збагачувальна фабрика

Рисунок 1.2. Схема ДШ підготовки вугілля

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Перевагами схеми ДШ є: невеликі капітальні витрати на дробарні пристрої, поєднання в одному агрегаті процесів подрібнення і змішування. Відділення остаточного подрібнювання не пов'язане з вуглеприйомом, продуктивність вище і після наповнення вугільних веж більше часу можна віддавати

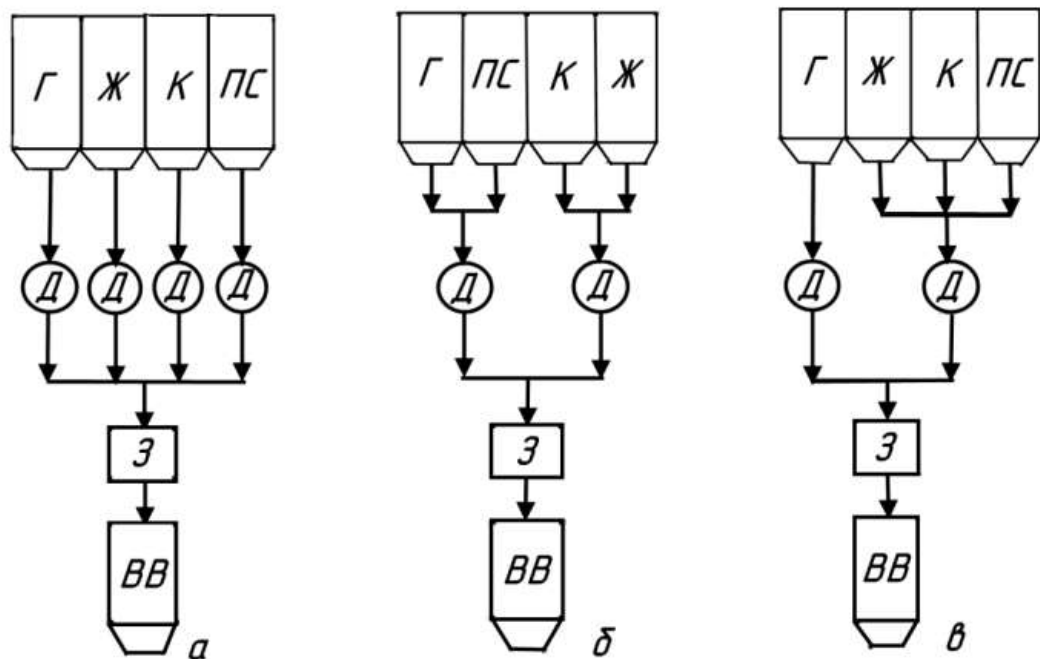
профілактичним ремонтам. Вугілля не зависає в дозувальних бункерах, оскільки відсутня необхідність змішування компонентів шихти після їхнього спільного подрібнення, витрата електроенергії на підготовку вугілля за схемою ДШ нижче, ніж в інших схемах.

Недоліком схеми є неможливість створення оптимальних умов подрібнення кожного компонента. Крім того, точність дозування вугілля грубого помелу менше, ніж при тонкому їхньому подрібнюванні.

На коксохімічних підприємствах схема ДШ практично не застосовується, оскільки було уведено роздільне подрібнювання газового вугілля, що вже є переходом до схеми ДК - подрібнення компонентів. При подрібнюванні компонентів шихти за схемою ДК усуваються багато недоліків схеми ДШ. Тут кожна марка вугілля подрібнюється окремо і це дозволяє підібрати такий режим роботи дробарок, що забезпечує мінімальне переподрібнення, необхідну середню крупність часточок вугілля. У схемі ДК потрібно значно більше устаткування, чим у схемі ДШ, і її можна використовувати тільки на коксохімічних підприємствах, що одержують збагачене вугілля. Подрібнювати вугілля за марками перед їхнім збагаченням нераціонально, тому що збагачення дрібних класів більш дорогий процес, ніж збагачення крупних класів.

Подальшим удосконаленням остаточного подрібнення вугілля з'явилися схеми ГДК - групове подрібнення компонентів і ДДК - диференційоване подрібнення компонентів.

У схемах ГДК спільному подрібнюванню в одному дробильному агрегаті піддаються групи вугілля різних марок. Для встановлення необхідного ступеню подрібнювання кожної групи компонентів були вироблені певні принципи. Розповсюдженою вважається наступна точка зору, так як спікання вугільних часточок є поверхневим процесом, то для кращого диспергування неспікливих часточок у масі шихти слабоспікливі компоненти варто подрібнювати більш тонко.



а, – схема ДК; б – схема ГДК; в – схема ДДК

Д – дроблення, З – змішення, ВВ- вугільна вежа.

Рис. 1.3. Схеми диференційованого дроблення

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Внаслідок того, що кожна неспіклива часточка володіє іншими, ніж спіклива, фізичними константами (термічний коефіцієнт розширення, теплопровідність), вона є стороннім предметом. Наявність таких часточок порушує однорідність структури напівкоксу (коксу), стає центром розвитку тріщин, що і викликає необхідність їхнього тонкого подрібнювання.

Для коксохімічних підприємств, що одержують вугільні концентрати, рекомендувалося в одну групу поєднувати тверде і слабоспікливе вугілля (Г, ПС, П), що потребує найбільшого ступеню подрібнювання, а в іншу - більш м'яке й доброспікливе (Ж і К).

Диференційоване подрібнення компонентів шихти (ДДК) являє собою систему, при якій кожний компонент шихти подрібнюється до заданого рівня, що відрізняється від рівня подрібнювання інших компонентів. Сполучен-

ня схеми ГДК із диференційованим подрібнюванням груп і керування ступенем подрібнювання кожної групи дозволяють забезпечувати досягнення оптимального гранулометричного складу.

До останнього часу на коксохімічних підприємствах України остаточне подрібнювання вугілля здійснювалось переважно за схемою ГДК із диференційованим подрібнюванням груп компонентів. Схеми подрібнювання компонентів і шихти на підприємствах безупинно вдосконалюються із впровадженням прогресивних елементів. Створюються різні сполучення схем і їхніх варіантів.

На коксохімічних підприємствах, що мають вуглезбагачувальні фабрики, остаточному подрібнюванню піддається тільки великий концентрат і велика частина дрібного концентрату (звичайно > 6 мм).

В умовах погіршення сировинної бази коксування для петрографічно однорідних вугілля найбільш раціональної, була б схема диференційованого подрібнення кожного з компонентів шихти в замкнутому циклі подрібнення.

Метод вибіркового подрібнення представляє собою спосіб подрібнення тільки крупних класів вугілля. Головною ознакою будь-якої схеми вибіркового подрібнення є застосування класифікації вугілля за крупністю будь-яким економічно обґрунтованим способом.

Вибіркове подрібнення є найбільш прогресивним способом підготовки вугілля перед коксуванням, тому що дозволяє:

- 1) знизити верхню межу крупності і максимально зменшити трещіноватість коксу;
- 2) зменшити утворення класу менше 0,5 мм та збільшити насупну масу шихти;
- 3) збільшити застосування ддля коксування великих кількостей газового і іншого вугілля, які розширюють сировинну базу коксування (без погіршення механічних властивостей коксу).

Потрібно сказати, що верхня межа крупності не може бути однаковою для всіх заводів, а є функцією складу шихти за марками та показників її коксівності (товщини пластичного шару).

У області пошуку оптимального помелу окремих компонентів та вугільної шихти у цілому маються значні резерви для покращення показників якості коксу за механічними властивостями.

Схема вибіркового подрібнення має великі перспективи. При підготовці вугілля за цією схемою спочатку виділяється весь клас 0-3 мм, а решта вугілля йде на остаточне подрібнення, причому крупні класи весь час відсіюються та повертаються у цикл подрібнення. Таким чином, у схемі вибіркового подрібнення одночасно дотримується принцип «не подрібнювати нічого зайвого» та підлягають додатковому подрібненню крупні, найбільш мінералізовані класи вугілля, що позитивно відображається на якості коксу. Дрібний клас, що виділяється є готовим продуктом та не бере участь у процесі подрібнення.

До недоліків методу вибіркового подрібнення відносяться: додаткові капітальні витрати для здійснення класифікації вугілля та додаткові витрати електроенергії. Однак ці витрати дуже швидко окупаються, якщо одночасно залучаються для коксування газове або інше відносно дешеве вугілля.

1.3 Аналіз впливу крупності подрібнення вугільної шихти на якість доменного коксу

Щоб поліпшити якість коксу, повинен бути досягнутий оптимум подрібнення вугілля, який залежить від глибини його збагачення, петрографічного складу і спікливості.

В практиці роботи коксохімічних підприємств вимоги, пропоновані до визначення ступеня подрібнення шихти, зазвичай обмежуються вмістом у ній вугілля класу крупності 0-3 мм. В якості додаткової характеристики служить вміст класів: 3-6 мм, понад 6 і менше 0,5 мм (в тому числі класи, вимірювані

мікронами). Однак характеристика подрібнення шихти за вмістом класу менше 3 мм не може повністю відображати ступінь подрібнення матеріалу внаслідок нерівномірності розподілу його за розмірами усередині класу 0-3 мм і неправильної геометричної форми частинок вугілля. Так, наприклад, при одному і тому ж вмісті в шихті класу 0-3 мм, рівному 82 %, в ній може бути вміст класу 0-0,5 мм і 35, і 60 %, що різко позначиться на її спікливості.

Як вказує Н.С. Грязнов, подрібнення знижує спікливість вугілля, оскільки збільшує питому поверхню вугільних частинок, посилює адсорбцію вугіллям кисню, збільшує газопроникність пластичної вугільної маси, прискорює евакуацію парогазової фази і гальмує протікання при піролізі відновних процесів. В результаті різко знижується текучість пластичної вугільної маси (внаслідок меншого утворення рідких продуктів) і настає ефект самоопіснення. Поряд зі зменшенням спікливості тонке подрібнення вугільної шихти знижує її насипну щільність, що збільшує пористість коксу. В результаті міцність коксу знижується через ослаблення міцності стінок пор [1].

З подрібненням вугілля пов'язані напруженість і тріщинуватість коксу. Внутрішні напруги і тріщини в коксі пов'язані з нерівномірною усадкою: в масиві - через перепад температури, а на окремих ділянках - через неоднорідність вугільних частинок.

Місцеві напруження виникають в результаті поверхневого спікання залишкового матеріалу вугільних частинок. Кожна частинка проходить термічний розклад практично незалежно від інших частинок, і кожна прагне скорочуватися після затвердіння в межах залишкового об'єму. Оскільки матеріал частинок не однаковий і нагрівання йде нерівномірно, скорочення їх відбувається неузгоджено. Імовірність залишкових напружень тим більше, чим крупніше частинки, чим більше відрізняються вони коефіцієнтом стиснення - розширення. Ця неузгодженість збільшується за наявності в шихті частинок породи.

При подрібненні шихти і зменшенні кількості крупних частинок їх якість погіршується внаслідок «видроблення» з них крихких вітринізованих

інгредієнтів: зольність їх збільшується і спікливість зменшується. Одночасно інтенсивно зростає зовнішня питома поверхня шихти, так як подрібнення важкоподрібнюваних і мінералізованих крупних класів супроводжується переподрібненням більш дрібної частини шихти. Вона складається переважно з вітринізованих частинок, міцність яких приблизно в 10 разів нижче дюренових [1].

Властивості окремих класів крупності вугільних шихт багато в чому визначають умови отримання з них якісного коксу. У вугіллі і шихтах, подрібнених в одноразовому відкритому циклі (схеми ДШ, ДК, ГДК і ДДК), спостерігаються певні тенденції розподілу вугільного матеріалу за крупністю. Найбільш зольними, як правило, є відносно крупні класи. Вміст вітриніту найчастіше зменшується від дрібних класів до крупних, відповідно до цього змінюються показники спікливості. При підвищенні помелу з використанням згаданих схем, зольність крупних класів збільшується. Однак застосування схем вибіркового подрібнення, особливо з замкнутими циклами при тонкому подрібненні, при якому виділяється поганоспікливий матеріал, дозволяє вирівняти властивості класів, знизити зольність великої частини шихти і збільшити її спікливість, що призводить до підвищення міцності коксу.

Запропоновано спосіб кількісної оцінки розподілу показників якості вугілля за крупністю за допомогою коефіцієнта розподілу (K_p), при цьому встановлено, що величина і знак коефіцієнта пов'язані з технологією подрібнення шихти і показують, наскільки цей розподіл впливає на процес утворення коксу.

Існує три види розподілу зольності вугілля за класами крупності, пов'язані з технологією підготовки вугільних шихт до коксування: подрібнення, коли спостерігається відносно високе значення зольності крупних класів $K_p^A > 0$ (прямий розподіл); випадок, коли мінералізовані та поганоспікливі частинки з крупних класів переходять в дрібні (наприклад, при вибіркового дробленні) $K_p^A < 0$ (зворотний розподіл); можливий проміжний випадок, коли $K_p^A = 0$ (рівномірний розподіл). Так, як величина спікливості класів обер-

нена їх зольності, коефіцієнти розподілу спікливості K^C_p і зольності K^A_p мають різні знаки: при прямому розподілі K^C_p буде приймати негативні значення, а при зворотному – позитивні [2].

Тріщинуватість коксу, що формує куски, визначається не тільки виникненням внутрішніх напружень в коксуючому шарі, але також і опором тіла коксу. Міцність пористого тіла коксу з підвищенням ступеня подрібнення вугілля знижується, отже, знижується і опір тіла коксу розриву. При більш тонкому подрібненні шихти в коксовому пирозі утворюється менше тріщин, але вони більш інтенсивно просуваються вглиб, що призводить до отримання більш дрібного, але менш тріщинуватого коксу. Це може сприяти підвищенню рівномірності гранулометричного складу коксу - зменшення вмісту фракції > 80 мм і збільшенню фракції 40-80 мм.

Виходячи з механізму впливу подрібнення вугілля на міцність пористого тіла, напруженість і крупність коксу, Н.С. Грязнов звертає увагу на необхідність досягати оптимального співвідношення класів крупності в гранулометричному складі вугілля для забезпечення більш високої щільності завантаження, уникати утворення великої кількості тонких класів, що знижують спікливість вугілля, вибирати рівень крупності верхніх класів відповідно до засмічення вугілля неспікливими компонентами - породою, зростками та матовим вугіллям. Якщо якість крупних класів в кінцевому продукті подрібнення виявиться подібним якості решти класів за спікливістю, зольністю і петрографічним складом, то обмеження для підвищення їх крупності немає. Значення матимуть сегрегація шихти і порушення її гомогенності.

Зазначені уявлення дозволили Н. С. Грязнову сформулювати основний принцип подрібнення вугілля перед коксуванням: для підвищення міцності коксу найбільш ефективним є подрібнення вугілля або шихти, в результаті якого при зниженні верхньої межі крупності утворюється оптимальна кількість тонких класів ($< 0,5$ мм), а крупні класи виходять поліпшеного петрографічного складу і менш мінералізованими з показниками спікливості і усадки, не поступливими показникам суміші інших класів [1].

Зменшення розміру крупних класів і поліпшення їх якості необхідно для зменшення напруженості і тріщинуватості коксу, а зниження кількості тонких класів - для підвищення міцності його пористого тіла. Межею зниження вмісту тонких класів слід вважати в середньому $\sim 35\%$ класу 0-0,5 мм, при якому досягається максимальна насипна щільність вугільного завантаження. Досягнення зазначеного вмісту тонких класів значною мірою визначає і рівень верхньої межі крупності. Ще А. Г. Чернов вперше висловив думку про те, що однорідний кокс можна отримати при створенні умов одночасного перебування в межах пластичного шару всіх компонентів шихти. З цього випливало, що верхня межа крупності частинок подрібненої шихти повинна бути такою, щоб частинки максимального розміру всіх компонентів шихти вкладалися в її пластичному шарі. Практично це означало, що в першому наближенні верхня межа крупності при товщині пластичного шару, що дорівнює 22 мм, і чотирьох компонентах шихти визначався як $22 : 4 = 5,5$ мм. Природньо, що знаходження всіх компонентів шихти по ширині пластичного шару є бажаним, проте не обов'язково, щоб верхня межа крупності вугільних частинок всіх компонентів була однаковою.

Висловлені вище міркування про значення подрібнення вугілля для якості коксу свідчать про недостатню обґрунтованість старих уявлень про верхню межу крупності вугільних частинок в шихтах для коксування.

За даними В. Г. Зашквари і А. Г. Дюканова, для отримання коксу з найбільшою міцністю пористого тіла і менше стираючого вмісту у вугільній шихті класу крупності менше 0,5 мм повинно знаходитися в межах 35-40 %. Оптимальне поєднання класів крупності в шихті забезпечується при гранулометричному складі, %: 6-12 мм - 10; 3-6 мм - 20; 0,5-3 мм - 30 і класу менше 0,5 мм - 40.

Слід мати на увазі, що необхідність отримання коксу з певними фізико-хімічними властивостями може вступати в протиріччя з бажанням мати високу насипну щільність шихти для збільшення продуктивності коксових печей. Тому остаточне подрібнення вугілля перед коксуванням повинно забез-

печувати (при даному складі шихти) оптимальний її гранулометричний склад. Останній повинен поєднувати інтереси отримання коксу необхідної якості з максимальною насипною щільністю завантаження, яка забезпечить також і підвищення спікливості шихти - високу рухливість пластичної вугільної маси і низьку її газопроникність [1].

1.4 Вплив ступеня подрібнення на насипну щільність шихти

Фахівці Новолипецького металургійного комбінату відзначають, що одним з методів підвищення продуктивності коксових батарей слід вважати збільшення насипної маси коксованої вугільної шихти, яке може бути досягнуто зменшенням ступеня її подрібнення. Встановлено, що зниження ступеня подрібнення на 1 % підвищує її насипну масу на 1,1 % [3].

Насипна маса вугільної шихти є одним з основних факторів, що визначають продуктивність коксових печей і якість коксу. Коливання насипної маси вугільної шихти змінюють якість коксу, у зв'язку з чим необхідно прагнути до дотримання сталості цього показника при експлуатації коксових печей. Зміна насипної маси вугільної шихти в різних ділянках коксової печі погіршує рівномірність якості коксу, відхилення насипної маси вугільної шихти по висоті пічної камери повинні бути мінімальними. Найбільший вплив на насипну масу вугільної шихти без застосування механічних способів її збільшення (трамбування, брикетування і т. д.) надають вміст у ній вологи і ступеня подрібнення шихти. Ці фактори впливають на тепловий режим процесу коксування, фізико-механічні властивості коксу, вихід і якість хімічних продуктів коксування [4].

У вуглепідготовчому цеху (ВПЦ) коксохімічного виробництва (КХВ) ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» провели дослідження впливу ступеня помелу вугільної шихти (0-3 мм), вмісту класу - 0,5 мм і вмісту в ній великих фракцій (3-6 і + 6 мм) на насипну масу шихти, за результатами дослідження побудували графіки.

При збільшенні ступеня помелу шихти з 71 до 92 % (рисунок 1.4) при її середній вологості 11,2 % насипна маса шихти знижується з 0,862 до 0,761 т/м³, тобто підвищення ступеня подрібнення шихти на 1 % знижує її насипну масу на 4,8 кг/м³, а при середній вологості шихти 5,6 % на 3,9 кг/м³. Звертає на себе увагу також той відомий факт, що при постійному ступені подрібнення шихти її насипна маса тим вище, чим нижче вміст води в шихті.

Вміст фракції -0,5 мм на теоретично оптимальному рівні 32 % (рисунок 1.5) навіть при вологості шихти 11,2 % забезпечує досить високе значення насипної маси шихти 0,86 т/м³, а при вологості 5,6 % можна очікувати підвищення насипної маси шихти до 0,91 т/м³; у всякому разі, експериментально отримано, що при вмісті фракції -0,5 мм в шихті 35 % при її вологості 5,6 % насипна маса шихти дорівнює 0,885 т/м³.

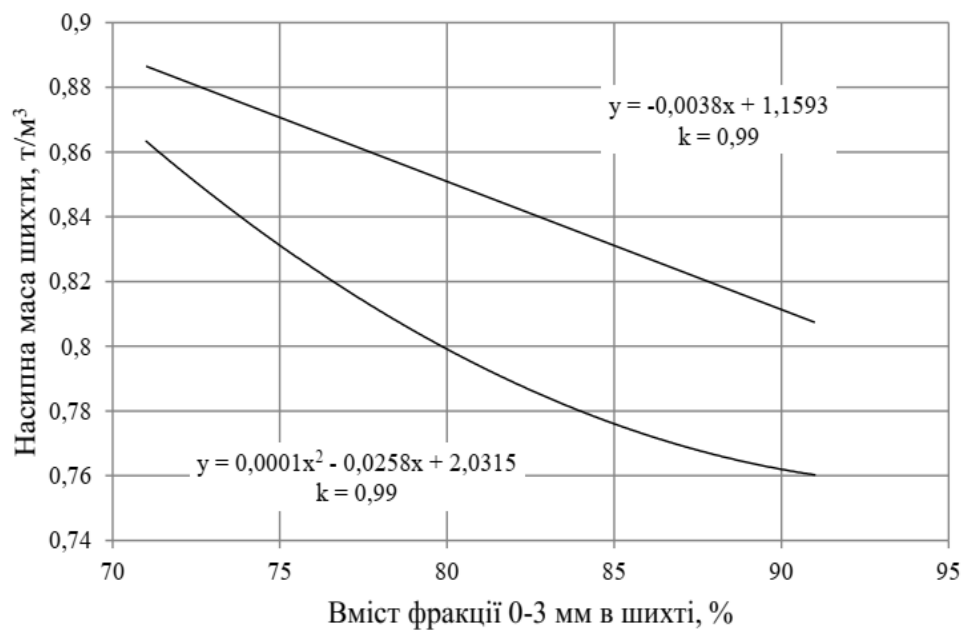


Рис. 1.4. Залежність насипної маси вугільної шихти від ступеня її помелу при середніх значеннях вологості шихти: верхня крива 5,6 %; нижня -11,2 %

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [4]

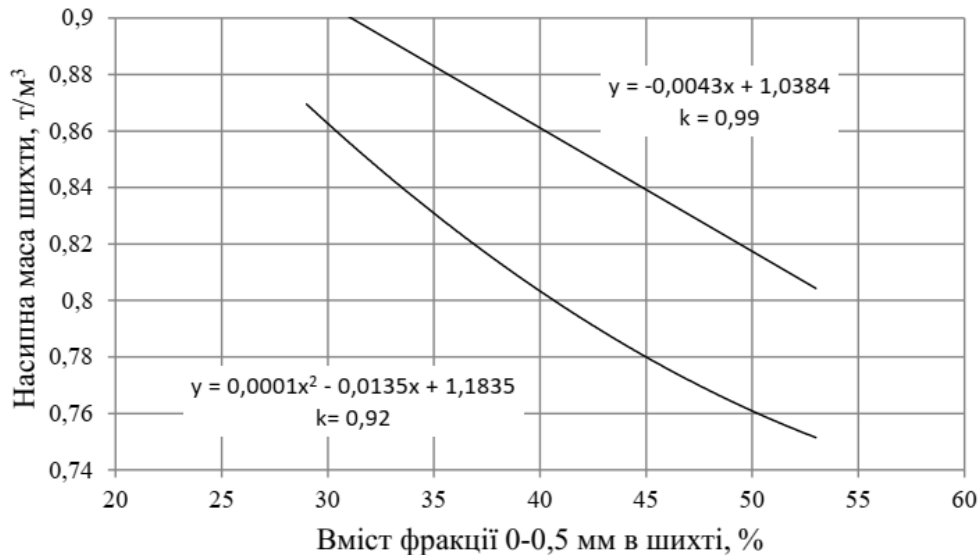


Рис.1.5. Залежність насипної маси вугільної шихти від вмісту в ній фракції 0-0,5 мм при середніх значеннях вологості шихти: верхня крива 5,6 %; нижня - 11,2 %

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [4]

Переподрібнення шихти і збільшення в ній фракції -0,5 мм до 54 % призводить до різкого зменшення насипної маси шихти до $0,75 \text{ т/м}^3$. Ситуацію можна поліпшити, якщо цілеспрямовано знизити вологість шихти з 11,2 до 5,6 %, при цьому насипна маса шихти збільшиться до $0,81 \text{ т/м}^3$ [5].

Найбільша насипна маса сухої вугільної шихти виходить при приблизно рівних частинах крупного, середнього і дрібного класів зерен. Для волого вугілля в кожному інтервалі вологості існують оптимальні співвідношення між класами, які дають максимальну насипну масу (таблиця 1.1) [6].

Зі збільшенням ступеня подрібнення вугілля і шихт помітно знижується їх насипна маса. Величина цього зниження при зміні ступеня подрібнення від 85 % вмісту класу $\leq 3 \text{ мм}$ до 100 % коливається в значних межах для вугілля різних марок (таблиця 1.2).

Зростання дольової участі слабоспівкливих компонентів у вугільних шихтах вимагає вирішення питання про оптимальний ступінь подрібнення

останніх і визначення раціонального способу їх підготовки. Тонке подрібнення доцільно для шихти, що володіє великим запасом спікливості, так як відбуваються при цьому самоопіснення і зниження насипної маси шихти призводить до зменшення тріщинуватості коксу.

Таблиця 1.1

Співвідношення крупних, середніх і дрібних фракцій вугілля, що забезпечують найбільшу насипну масу при різній її вологості

Вугільна суміш	Крупні зерна > 4 мм, %	Середні зерна 1-0,5 мм, %	Дрібні зерна 0,12 мм, %
Абсолютно суха	35	35	30
Волога 2-4 %	30	25	40
Волога > 6 %	45	40	15

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

Таблиця 1.2

Зниження насипної маси вугілля різних марок при зміні ступеня подрібнення від 85 до 100 % вмісту класу < 3 мм

Марка вугілля	Зниження насипної маси, %
К	14,0
КЖ	8,0
Г	5,0
Ж	3,5
Концентрат Карагандинської ЦЗФ	9,0

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

В умовах зниження спікливості вугільних шихт можна отримувати кокс досить високої механічної міцності коксуванням шихт з високою насипною масою. При цьому в результаті щільного укладання вугільних зерен досягається більш тісний їх контакт і утворюється більше «плавких» продуктів розкладання вугілля в одиниці об'єму завантаження, тобто покращуються умови спікання шихти. Підвищення насипної маси шихти відбувається при зменшенні ступеня її подрібнення [4].

1.5 Зміна петрографічного складу шихти при її подрібненні

В даний час на коксування надходить вугілля не чистих марок, а їх суміші, склад яких можна встановити тільки за допомогою петрографічного аналізу. Петрографічний аналіз дозволяє також розібратися зі зміною якості вугільної шихти в процесі її подрібнення. При цьому особливу роль дослідники приділяють зміні в процесі подрібнення шихт вмісту вітриніту (V_t) і суми опіснюючих компонентів (ΣOK).

В результаті подрібнення газового вугілля в міру зростання вмісту класу ≤ 3 мм змінюється його речовий склад. При вмісті класу ≤ 3 мм 35,4 % вміст вітриніту становив 76,9 %. При частках класу ≤ 3 мм 57,1 і 90,8 % вмісту вітриніту стало менше і склало відповідно 72,1 і 64,9 %. У той же час крупні класи вугілля марок Ж, К і ПС, отримані в умовах «обережного» подрібнення, незначно відрізняються за складом і більш придатні за властивостями для процесу коксування, ніж зерна класу ≤ 3 мм того ж вугілля. Тому немає необхідності тонко подрібнювати зазначене вугілля, а крупні класи газового вугілля вимагають більш тонкого подрібнення, оскільки в них концентруються дюритові частинки і породні зерна.

Автори роботи [7] досліджували карагандинське вугілля з метою встановлення залежності його коксуючості від петрографічного складу і відбивної здатності вітриніту. Зміна механічної міцності і стираємості коксу за показ-

никами M_{10} трьох шахт в залежності від вмісту у вугіллі опіснюючих компонентів показало, що при вмісті у вугіллі ΣOK в кількості 22-32 % величина показника максимальна і при вмісті у вугіллі опіснюючих компонентів у кількості 20-30 % величина показника M_{10} мінімальна. Роль опіснюючих компонентів полягає у зменшенні усадочних напружень у коксі, внаслідок чого знижується його тріщинуватість.

У статті [8] наводиться інформація про те, що в результаті реконструкції вуглепідготовчого цеху коксохімічного виробництва Новокузнецького металургійного комбінату змінили схему підготовки шихти з ДШ на ДК. Дослідження властивостей шихт і окремо за класами їх крупності для двох схем підготовки шихти показало, що при переході з ДШ на ДК вміст вітриніту в шихті збільшується з 62,2 до 65,7 %, а сума опіснюючих компонентів знижується з 34,3 до 30,4 %. Збільшення вмісту вітриніту і зменшення вмісту ΣOK при переході з ДШ на ДК сталося і за класами крупності шихти, крім того, помітно знизився коефіцієнт неоднорідності шихти з 16,2 до 4,7 % для вітриніту і з 23,8 до 6,0 % для суми опіснюючих компонентів.

Таким чином, при збільшенні ступеня подрібнення шихти відбувається її «опіснення» не тільки в результаті зростання в шихті вмісту класу $\leq 0,5$ мм, а й за рахунок зміни його мацерального складу - знижується вміст вітриніту і росте сума опіснюючих компонентів, що в сукупності негативно впливає на спікливість і коксівність шихти і, відповідно, на якість коксу [8].

В даний час на коксохімічному виробництві (КХВ) ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» фахівцями ВТК КХВ та ЦЛ КХВ проводиться постійний контроль вугілля і шихт з визначенням технічного, пластометричного та петрографічного аналізів, гранулометричного складу і насипної маси шихти, а також показників якості коксу.

У таблиці 1.3 наведені усереднені дані гранулометричного і петрографічного складів шихти і показників якості коксу з січня по травень 2010 року на 1-3,4 і 5-6 батареях КХВ.

З даних таблиці 1.3 видно, що ступінь подрібнення шихти, що визнача-

ється за вмістом класу 0-3 мм, змінювався в діапазоні 86,96 - 88,6 %, а вміст опіснюючого класу 0-0,5 мм в шихті змінювався від 44,2 до 47,38 %. При цьому кількість жирного і коксового вугілля в шихті трьох черг вуглепідготовчого цеху (ВПЦ) змінювалася в межах 60,0 - 80,5 % і 3 - 12,0 %, відповідно. Вміст вітриніту в шихтах змінювався в межах 64,75 - 70,0 %, а сума опіснюючих компонентів 27,07 - 32,0 % [9].

Таблиця 1.3

**Усереднені дані гранулометричного та петрографічного складу
шихти і показників якості коксу на коксових батареях № 1-3, 4 і 5, 6
КХП ВАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" за місяцями 2010 р.**

Місяць	Шихта						Кокс			
	0-3 мм, %	-0,5 мм,%	Ж, %	К, %	V _t , %	ΣОК, %	M ₂₅ , %	M ₁₀ , %	+80 мм, %	-25 мм %
Батарея № 1-3										
Січень	87,8	46,34	75,64	5,09	67,82	29,55	83,05	7,95	4,88	5,89
Лютий	88,28	46,04	71,036	4,79	70	27,07	82,44	8,34	7,69	5,96
Березень	88,2	46,46	74,8	6,4	67,8	29,6	83,74	8,12	6,32	6,82
Квітень	87,61	46,46	65,44	10,89	68,33	29,44	80,34	8,98	7,27	6,59
Травень	87,3	45,8	60	12	65,9	31	82,9	8,9	8,29	6,4
Батарея №4										
Січень	88,6	47,38	79	3	68	29,67	82,63	8,23	5,33	6,57
Лютий	88,38	46,35	67,67	7	69,33	28	83,13	8	6,11	5,53
Березень	88,31	46,64	80,25	4	66,25	31	83,5	8,4	6,5	6,9
Квітень	86,96	45,41	61,71	10,29	69,57	27,57	82,43	8,94	6,67	6,47
Травень	86,2	44,2	65,75	10,75	64,75	31,25	83	8,9	7,9	6,6
Батарея №5,6										
Січень	87,19	45,86	80,5	4	66	30,75	81,35	8,07	3,95	9,53
Лютий	88,28	46,4	71,36	4,79	70	27,07	82,44	8,34	7,69	5,96
Березень	87,26	46,29	76,83	5,33	66,67	31	82,37	8,78	4,55	9,49
Квітень	87,46	46,09	66,75	10,81	65,5	32	81,74	9,09	5,46	9,04
Травень	86,7	45,4	63,5	11,1	65,9	30,9	82,49	8,83	5,37	9,42

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

У вугільній шихті КХВ має місце підвищений вміст опіснюючого класу 0-0,5 мм, оптимальне значення якого знаходиться в діапазоні 32 - 35 %, і збільшений вміст опіснюючих компонентів, яке, за дослідженнями, для шихти з високим вмістом жирних і коксових вугілля має становити 18 - 26 %.

Якість коксу у розглянутий період змінювалося: M_{25} - з 81,74 до 83,74 %, M_{10} - з 7,95 до 9,09 %, вміст класу +80 мм - з 3,95 до 8,29 % і класу -25 мм - з 5,89 до 9,53 %.

Маючи петрографічні показники вугілля, дозованих в шихту трьох черг ВПЦ КХВ ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг", нескладно розрахунковим шляхом визначити кількість внесених вугіллям в шихту вітриніту і опіснюючих компонентів і порівняти їх з фактичними даними вугільної шихти після подрібнення. Як приклад наведено фактичні та розрахункові дані за березень 2010 р (таблиця 1.4).

З даних таблиці 1.4 видно, що практично завжди кількість внесеного вугіллям вітриніту вище в середньому на 7,78 %, а сума опіснюючих компонентів нижче на 7,23 % в порівнянні з цими показниками в шихті після подрібнення.

Залежності показників якості коксу M_{25} і M_{10} від зміни суми опіснюючих компонентів і вмісту вітриніту в шихті з рівняннями регресії і кореляційними відношеннями отриманих зв'язків для батарей № 1-3 КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» наведено на рисунку 1.6-1.9.

З рисунків 1.6-1.9 випливає, що в досліджуваному діапазоні максимальне значення показника M_{25} має місце при $\sum OK = 26$ % і $V_t = 72$ %, а мінімальне значення показника M_{10} - при $\sum OK = 24$ % і $V_t = 74$ %. Отримані оптимальні значення M_{25} і M_{10} залежно від суми опіснюючих компонентів знаходяться в діапазоні для максимального вмісту в шихті жирних і коксових марок вугілля.

Таблиця 1.4

Петрографічні показники вугільної шихти
КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Дата відбору проби	V_t		ΣOK	
	Фактична	Розрахункова	Фактична	Розрахункова
1	2	3	4	5
Батарея № 1-3				
03	70	74,81	27	23
04	68	74,69	30	23,3
15	72	74,17	27	23,8
17	64	74,06	32	23,9
22	65	73,94	32	24
Батарея № 4				
01	68	74,8	29	23,1
14	69	73,94	28	24
16	62	74,2	36	23,9
18	66	73,94	31	24
24	63	74,15	34	23,9
Батареї № 5, 6				
02	68	74,8	30	23
04	65	75,1	33	23,2
10	64	75,4	33	22,9
15	63	74,5	34	23,5
21	73	74,24	25	23,7
23	67	74,8	31	23,1

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

Рис. 1.6. Залежність показника якості коксу M_{25} від зміни суми опіснюючих компонентів в шихті

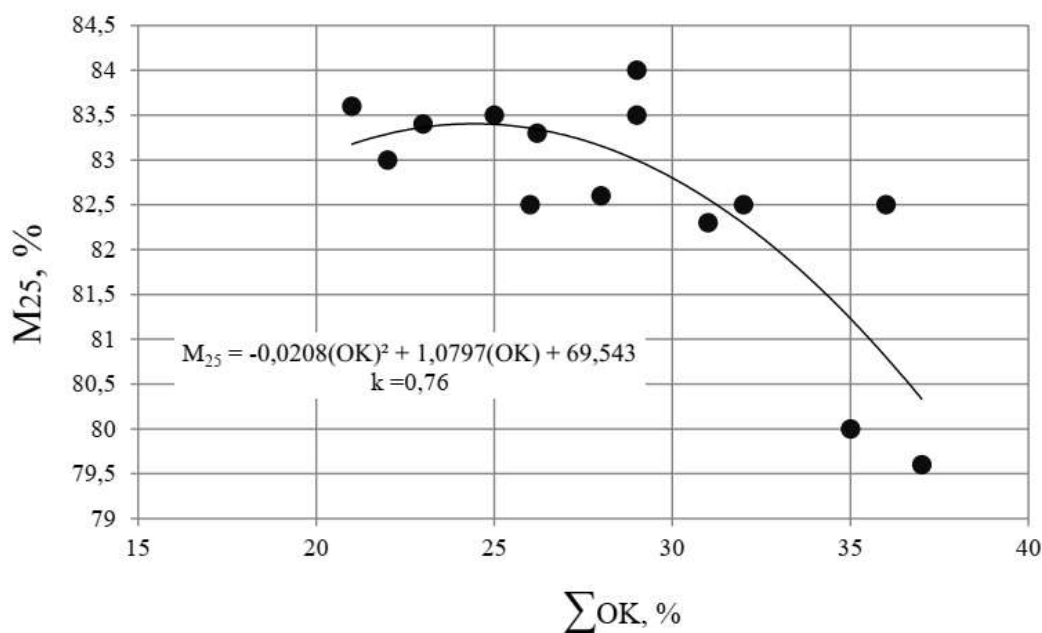


Рис. 1.6. Залежність показника якості коксу M_{25} від зміни суми описуючих компонентів в шихті

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [4]

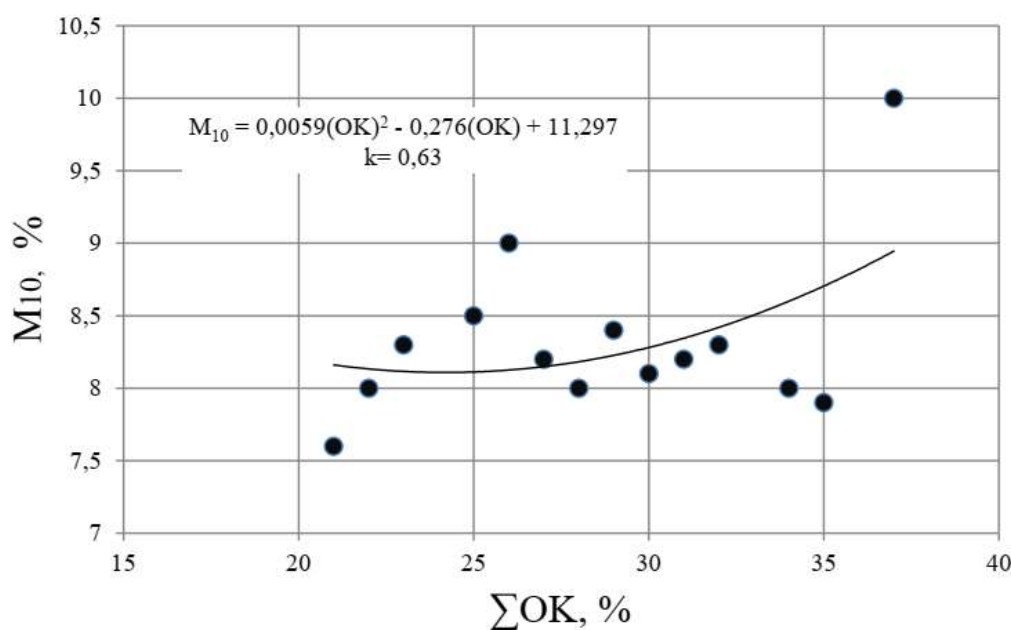


Рис.1.7. Залежність показника якості коксу M_{10} від зміни суми описуючих компонентів в шихті

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [4]

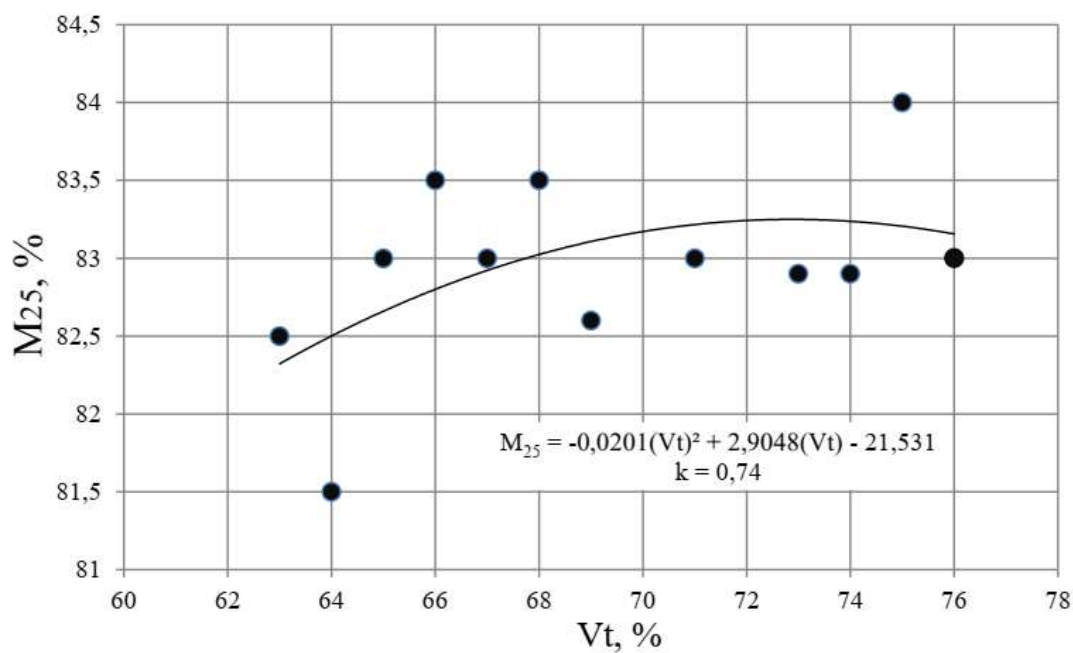


Рис. 1.8. Залежність показника якості коксу M_{25} від зміни вмісту вітриніту в шихті

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [4]

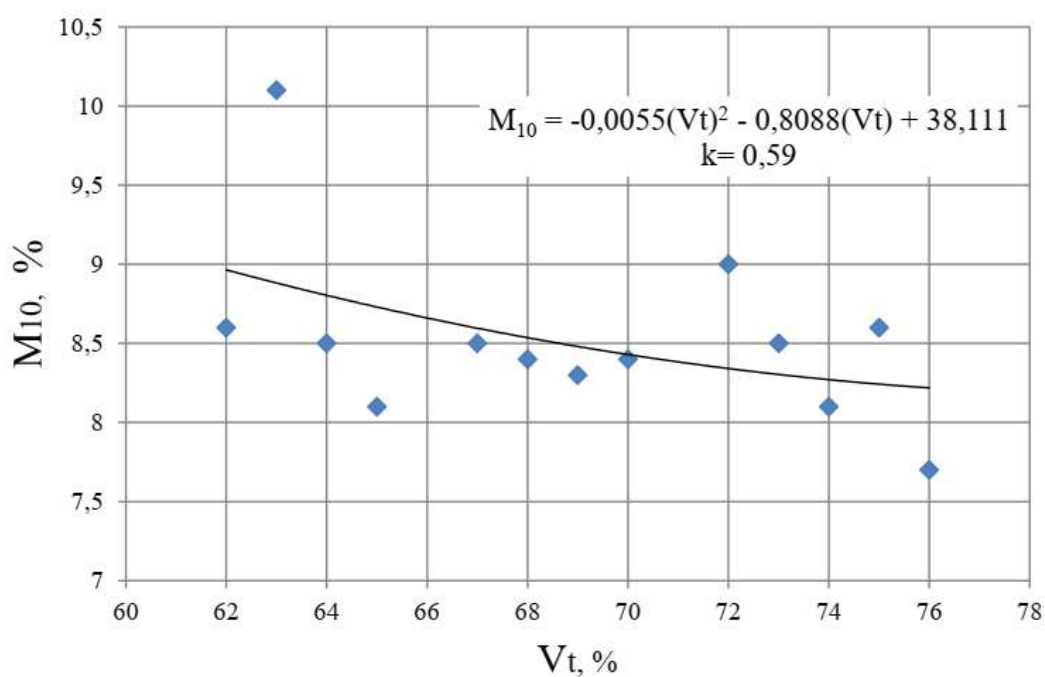


Рис. 1.9. Залежність показника якості коксу M_{10} від зміни вмісту вітриніту в шихті

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [4]

Досліджуючи методом петрографічного аналізу вугільну шихту, відібрану до і після подрібнення на третій черзі ВПЦ КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», отримали наступні результати. Петрографічний склад вугільної шихти до подрібнення: $V_t = 79,2 \%$, $\sum OK = 17,8 \%$. Петрографічний склад вугільної шихти після подрібнення: $V_t = 67,0 \%$, $\sum OK = 29,0 \%$. У досліджуваному діапазоні вміст вітриніту знижується на $12,2 \%$, а сума опіснюючих компонентів збільшується на $11,2 \%$, тобто спікаюча та коксуюча здатності шихти зменшуються [10].

Для підтвердження зміни петрографічного складу вугільної шихти при подрібненні провели ще один експеримент. Відібрали шихту до дробарки на третій черзі ВПЦ КХВ ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг", ретельно її усереднили і розділили на три частини. Одна частина шихти - базова не подрібнена шихта з вмістом фракції 0-3 мм $55,5 \%$ і дві частини, які подрібнюють на лабораторній молотковій дробарці до вмісту класу 0-3 мм $75,5$ і $96,2 \%$ відповідно (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5

Вміст частин шихти різних фракцій

Частина шихти	+6 мм	6-3 мм	3-0,5 мм	0-0,5 мм	0-3 мм
1	32,8	11,7	27,1	28,4	55,5
2	5,0	19,5	43,8	32,7	75,5
3	0,2	3,6	52,9	43,3	96,2

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [10]

Петрографічний склад трьох частин вугільної шихти різного ступеня подрібнення, які отримані з однієї проби, відібраної до дробарки, наведено в таблиці 1.6. Отриманий в даному експерименті результат свідчить про те, що при збільшенні ступеня подрібнення класу 0-3 мм з $55,5$ до $96,2 \%$ вміст вітриніту зменшується на 7% , а сума опіснюючих компонентів збільшується на

6 %, знижуючи, таким чином, спікливість і коксівність вугільної шихти.

Таблиця 1.6

**Зміна петрографічних показників трьох частин
шихти різного ступеня подрібнення**

Показник	Частина шихти		
	1	2	3
Вміст класу 0-3 мм	55,5	75,5	96,2
Vt, %	70	66	63
ΣOK, %	29	33	35

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [10]

В даний час на КХВ ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" використовують розроблені ДП «УХІН» комплексні петрографічні показники $C_{ш}$ (спікливість) і $K_{ш}$ (коксівність). Для отримання коксу високої якості ($M_{25} > 88\%$ і $M_{10} < 7\%$) величини зазначених показників властивостей шихти повинні складати: $C_{ш} \geq 53$, а $K_{ш} \geq 3,7$. Чим вище величина комплексного показника $C_{ш}$, тим краще характеристики міцності коксу, одержуваного з цієї шихти. У свою чергу, чим вище показник $K_{ш}$, тим більша ймовірність при інших рівних умовах отримати малостираний і малодробимий кокс. Показники $C_{ш}$ і $K_{ш}$ дозволяють дати узагальнюючу кількісну оцінку петрографічних характеристик вугільної шихти, що включає в себе дані визначення мацерального складу і рефлектограмного аналізу [10].

Збільшення ступеня подрібнення шихти знижує її спікливість і коксівність, особливо при високому вмісті в шихті вугілля марок Ж і К.

При подрібненні шихти не тільки збільшується поверхня частинок вугілля і вміст опіснюючого класу 0-0,5 мм, але змінюється і мацеральний склад шихти, що в сукупності впливає на спікливість і коксівність шихти. У зв'язку з цим при виборі оптимального ступеня подрібнення шихти необхідно враховувати всі зазначені фактори.

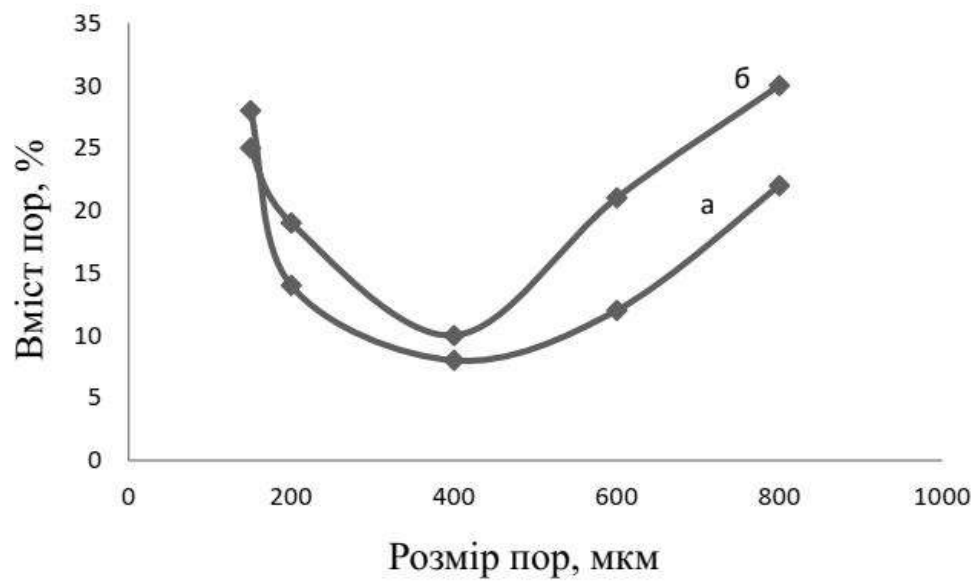
Постійне уточнення та використання у ВПЦ оптимального ступеня подрібнення шихти сприяє зниженню суми опіснюючих компонентів шихти і зростання вмісту вітриніту в ній, що покращує спіклівість і коксівність шихти і якість коксу [10].

1.6 Залежність міцності коксу від рівня подрібнення вугільної шихти

Теоретичний аналіз процесу коксоутворення, літературні дані та практика виробництва коксу показують, що залежність міцності коксу від рівня подрібнення вугільних шихт (або окремого вугілля) описується екстремальною кривою внаслідок протинаправленого впливу властивостей вугільного завантаження різного ступеня дисперсності на процес спікання вугільних частинок і утворення з них коксу. Для міцності кускового коксу ця залежність виражається кривою, має максимум: спочатку міцність коксу росте через зменшення кількості та верхньої межі крупності вугільних частинок, а при дуже тонкому подрібненні знижується внаслідок втрати завантаженням спіклівості, і збільшення розмірів пор коксу, як це показано на рисунку 1.10.

Практика показує, що в межах подрібнення вугілля і шихт, прийнятих при виробництві коксу, ясно виражений максимум на кривій відсутній, а ефект самоопіснення проявляється при дуже тонкому помелі. Тому завдання визначення оптимального рівня подрібнення шихти у виробничих умовах слід вирішувати шляхом встановлення такого її помелу, при зміні якого в деяких межах міцність коксу змінюється незначно.

У зв'язку з різноманітністю складів і властивостей вугільних шихт, а також умов їх підготовки та коксування, кожній шихті відповідає свій оптимальний рівень подрібнення.



а - 85%; б - 95% вмісту класу 3-0 мм

Рис. 1.10. Вміст пор різних розмірів в коксі з шихти зі ступенем подрібнення

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [12]

Опубліковані дані та численні результати досліджень вугільних шихт різного складу показують, що з підвищенням спікливості шихти в певних межах (у всякому разі від 13 до 22 мм по товщині пластичного шару) оптимальний рівень їх подрібнення знижується. При коксуванні таких шихт виходять криві залежності міцності кускового коксу від помелу, які мають однаковий зазначений вище характер. Проте місця перегинів на висхідних і низхідних гілках кривих розташовуються на різних ділянках, як це схематично показано на рисунку 1.8.

Наведене на рисунку сімейство кривих відображає загальну закономірність – чим вище спікливість шихт, тим меншою мірою помел впливає на міцність одержуваного з них коксу. Крім того, при підвищенні спікливості шихт ефект самоопіснення, початок прояву якого на кривих відзначено точками 1-4 (рисунок 1.11), настає при більш високих рівнях подрібнення.



лінії 1-4 - початок дії ефекту самоопіснення; 1'-4' - значення оптимального помелу

Рис. 1.11. Типові криві залежності міцності кускового коксу від рівня подрібнення вугільних шихт різної спікливості C ($C_1 < C_2 < C_3 < C_4$)

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [12]

З міркувань доцільності оптимальний помел вугільних шихт визначають у місцях перегину висхідних гілок кривих точки 1'-4'. Видно, що величина останнього знижується з ростом спікливості шихти. При цьому будь-яка зміна помелу в сторону оптимальної його величини призводить до поліпшення техніко-економічних показників отримання коксу: при зниженні помелу — за рахунок збільшення його виробництва (зростання насипної щільності ши-

хти) та економії електроенергії на подрібнення вугілля, а при підвищенні – за рахунок приросту міцності коксу [2].

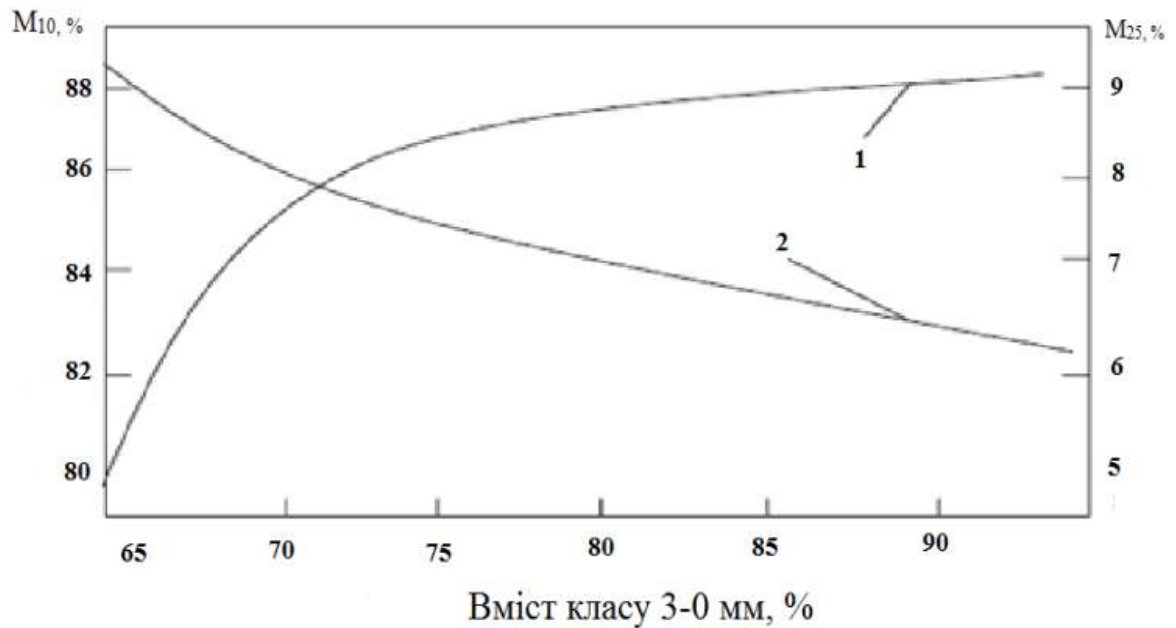
1.7 Оптимальний рівень подрібнення вугільної шихти за економічними показниками коксохімічного виробництва

Визначення оптимального ступеня подрібнення вугільних шихт - типова компромісна задача, характерна для процесів оптимізації, коли виникає необхідність у поліпшенні декількох кількісних характеристик, різним чином впливаючих на процес, балансуванням однієї проти іншої. Рівень подрібнення неоднозначно впливає на основні техніко-економічні показники коксохімічного виробництва. Зі збільшенням ступеня подрібнення зменшується насипна щільність шихти і відповідно - вихід коксу.

В цілому ж з урахуванням коригування процесу коксування через коливання кількості шихти, яка завантажується в пічні камери внаслідок різного рівня подрібнення на кожен 1 % зміни в шихті вмісту класу < 3 мм продуктивність печі змінюється на 0,15-0,2 %. Таким чином, визначивши вплив перерахованих факторів на економічність виробництва коксу, можна встановити оптимальний рівень подрібнення вугільних шихт за економічними показниками.

За економічними показниками у статті [11] визначали оптимальний ступінь подрібнення вугільної шихти для Криворізького коксохімічного заводу. У виробничих умовах були знайдені показники якості коксу (випробування в малому барабані) в діапазоні від 65 до 90-95 % вмісту класу < 3 мм (рисунок 1.12). Відповідно до прийнятої на заводі схеми групового подрібнення компонентів при ступені подрібнення 75 % газового вугілля подрібнювали до 75-76, опіснюючі присадки до 90-92, вугілля марок Ж і К - до 60-70 % вмісту класу < 3 мм.

Загальний рівень подрібнення шихти змінювали відповідним підвищенням або пониженням ступеня подрібнення цих компонентів.



1- крива залежності показника M_{25} від рівня подрібнення шихти; 2 - крива залежності показника M_{10} від рівня подрібнення шихти

Рис. 1.12. Залежність міцності коксу від ступеня подрібнення шихти

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [11]

Як видно, відбувається нерівномірна зміна показників якості коксу зі збільшенням ступеня подрібнення шихти: спочатку міцність коксу помітно зростає, проте поступово вплив цього фактора слабшає і при ступені подрібнення $> 85-90\%$ вмісту класу < 3 мм міцність коксу залишається практично постійною. За характером кривих залежності показників M_{25} (1) і M_{10} (2) від рівня подрібнення шихти (рисунки 1.6) можна стверджувати, що оптимальна його величина припадає на $74-78\%$ вмісту класу < 3 мм.

Максимального економічного ефекту досягають при збільшенні приросту ступеня подрібнення від 65 до 70 і від 70 до 75 % вмісту класу < 3 мм (рисунки 1.13). Це відбувається завдяки істотному підвищенню міцності кок-

су та відповідне зростання його оптової ціни. При подальшому збільшенні рівня подрібнення ефект знижується.

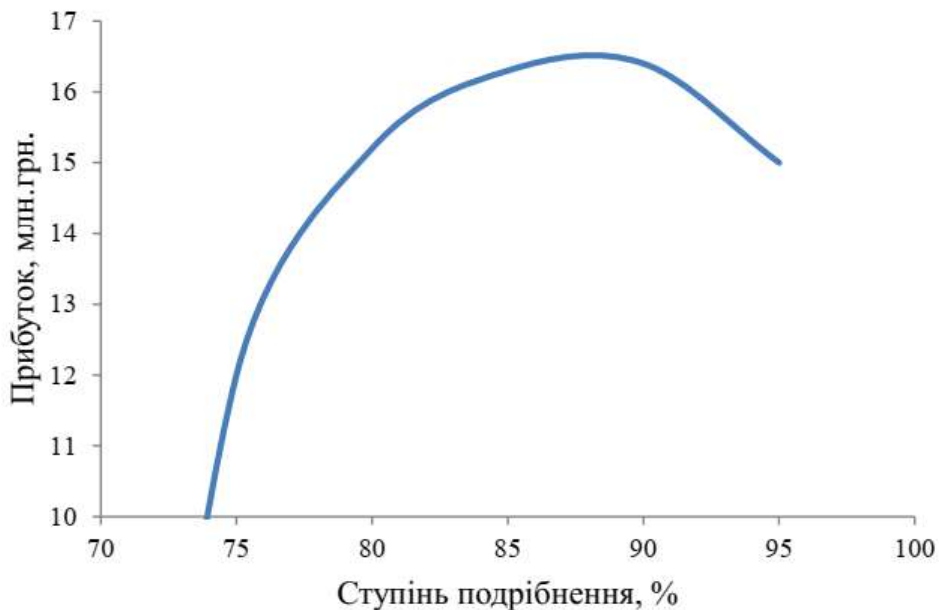


Рис. 1.13. Сумарний економічний ефект в залежності від ступеня подрібнення шихти

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [11]

Таким чином, для умов Криворізького заводу ступінь подрібнення вугільної шихти не повинен перевищувати 80-85 % вмісту класу < 3 мм. Визначальним у розрахунках є зміна оптової ціни коксу, залежної від показників його міцності, тому оптимальний ступінь подрібнення можна з достатньою точністю визначати за кривою залежності будь-якого показника міцності коксу - подрібнюваністю або стиранням - від рівня подрібнення шихти [11].

1.8 Висновки до аналітичної частини

В аналітичній частині проаналізовано вплив крупності подрібнення вугілля на якість доменного коксу та необхідність встановлення оптимального помелу вугільної шихти. У зв'язку з різноманітністю складів і властивостей

вугільних шихт, а також умов їх підготовки та коксування, кожній шихті відповідає свій оптимальний рівень подрібнення. При недостатньому помелі вугільної шихти відбувається зниження якості коксу, а при переподрібненні спостерігається ефект «самоопіснення», що теж погано впливає на якісні показники, тому слід прагнути до оптимуму крупності подрібнення, при якому підвищується спікливість шихти та якість коксу.

Насипна щільність вугільної шихти є одним з основних факторів, які впливають на якість коксу. Ступінь подрібнення шихти має найбільший вплив на насипну масу. Зниження ступеня подрібнення на 1 % підвищує її насипну масу на 1,1 %. При постійному ступені подрібнення насипна маса вище, коли нижче вміст вологи в шихті.

Також при подрібненні вугільної шихти змінюється її петрографічний склад, а саме при збільшенні помелу відбувається «опіснення» шихти за рахунок зниження вмісту вітриніту і росту суми опіснюючих компонентів, що негативно впливає на коксівність шихти, а отже і на якість коксу.

Зміна помелу вугільної шихти в сторону оптимальної його величини призводить до поліпшення техніко-економічних показників виробництва коксу – при збільшенні помелу за рахунок економії електроенергії і збільшення обсягу продукції коксу, а при зменшенні помелу - за рахунок покращення міцності коксу.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Методи визначення оптимального рівня подрібнення вугільної шихти

2.1.1 Розрахунок рівня подрібнення з урахуванням ступеня змішування шихти

Найчастіше оптимальний ступінь подрібнення при зміні параметрів вугільної шихти визначають за допомогою ящикового спікання, підготовленого з певним кроком її подрібнення. Існують і розрахункові методи визначення оптимального ступеня подрібнення вугільної шихти, які дають непогану збіжність з фактично прийнятими на практиці.

В елементарному обсязі спікання повинна міститися еталонна проба вугільної шихти масою G .

$$G = V_c \gamma_n = K_c Y^3 \gamma_n, \quad (2.1)$$

де V_c – елементарний об'єм спікання; γ_n – насипна щільність вугільної шихти, г/см³; Y^3 – товщина пластичного шару; K_c – коефіцієнт збільшення пластичного шару (спікання), який залежить від природи вугілля, які складають шихту, та умов коксування.

Ця проба складається з часткових проб, число котрих n можна визначити з вираження:

$$n \geq t^2 S^2 / \Delta^2, \quad (2.2)$$

де Δ - припустима помилка при визначенні показника якості; t - ступінь її ймовірності (нормоване відхилення); S - середньоквадратичне відхилення показника від його середнього значення.

Вважаючи, що n дорівнює числу вугільних зерен кубічної форми, які складають представницьку пробу мінімальної маси G_m , отримуємо:

$$G_m = (t^2 S^2 / \Delta^2) \cdot d^3 \delta, \quad (2.3)$$

де d - середній діаметр зерен вугільної шихти, см; δ - середньозважена щільність вугільного матеріалу, розрахована за фракційним складом, г/см³.

З умови рівності величин G та G_m маємо:

$$d = Y^3 \sqrt{K_c \frac{\gamma_H}{\delta} \cdot \frac{\Delta^2}{t^2 S^2}}, \quad (2.4)$$

Величина S характеризує неоднорідність вугільної шихти і тому пов'язана зі ступенем її змішування. Вважаючи, що ступінь змішування M_c визначається співвідношенням середньоквадратичних відхилень для незмішаної шихти S_H і шихти фактичного змішування S_ϕ отримуємо:

$$M_c = S_H - S_\phi / S_H = 1 - S_\phi / S_H, \quad (2.5)$$

У виразі (2.8) величина S характеризує фактичну (спостережувану) неоднорідність вугільної шихти. Отримавши значення S_ϕ і підставивши його в (2.8), маємо:

$$d = Y^3 \sqrt{K_c \frac{\gamma_H \cdot \Delta^2 \cdot 1}{\delta t^2 S_H^2 (1 - M_c)^2}}, \quad (2.6)$$

Звідси випливає, що чим вище спікливість шихти, більше її насипна щільність і ступінь змішування, а також менше вміст мінералізованих і породних зерен, тим грубіше може бути подрібнена шихта [12].

Такі розрахункові методи визначення оптимального ступеня подрібнення вугільної шихти є досить важкими у використанні через велике число додаткових параметрів вугілля, котрими не завжди володіють дослідницькі лабораторії коксохімічних підприємств.

2.1.2 Визначення оптимальної крупності за марочним та петрографічним складом вугільної шихти

У шихті КХП звертає на себе увагу високий вміст жирного вугілля, переподрібнювати яке взагалі не рекомендується (не більше 75 %), а при такому його вмісті в шихті та її подрібнення не повинно бути дуже високим.

Для оперативного визначення ступеня подрібнення (k) вугільної шихти можна скористатися простою формулою:

$$k = \frac{75(\text{Ж} + \text{К}) + 90(100 - \text{Ж} - \text{К})}{100}, \quad (2.7)$$

де 75 - рекомендований рівень подрібнення вугілля марок Ж і К, %; 90 - те ж, для вугілля марок ДГ, Г, ПС, П і А, %.

Можна також як критерій для розрахунку оптимального ступеня подрібнення використовувати показник відбиття вітриніту, значення якого змінюється залежно від петрографічного складу вугілля і стадії метаморфізму. Різними маркам вугілля відповідають такі інтервали значень показника відбиття вітриніту (R_0), %: ДГ 0,50-0,65; Г 0,65-0,89; Ж 0,90-1,19; К 1,20-1,39; ПС 1,40-1,69; П 1,70-2,59; А > 2,6.

Оптимальний ступінь подрібнення вугільної шихти в залежності від її марочного складу та спікливості може бути визначена за рівнянням:

$$k = [75(\sum(0,9 \div 1,39)V_t) + 90(\sum(0,5 \div 0,89)V_t) + \sum(1,4 \div 2,6)V_t] / 100, \% \quad (2.8)$$

де $(0,5 \div 2,6) V_t$ - показник відбиття вітриніту, відповідний вугіллю різних марок.

Всі дані для розрахунку оптимального ступеня подрібнення шихти за формулами беруть з рефлектограм петрографічного випробування цих шихт [4].

За даними формулами були виконані розрахунки для ВАТ «Алчевськ-коксу» та КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і отримали такі результати: для батарей № 5-8 ВАТ «Алчевськкоксу» $k = 79,4 \%$ (факт $79,3 \%$); для КХП за 26.10.10 для батарей № 1-4 $k = 77,7 \%$ (факт $86,6 \%$) і для батарей № 5-6 $k = 76,3 \%$ (факт $87,0 \%$); для КХП за 21.01.11 для батарей № 1-4 $k = 77,6 \%$ (факт $87,9 \%$) і для батарей № 5-6 $k = 77,1 \%$ (факт $86,3 \%$).

Таким чином, в результаті виконаного аналізу видно, що на батареях № 5-8 ВАТ «Алчевськкокс» ступінь подрібнення шихти обраний правильно і є оптимальним. На КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» ступінь подрібнення шихти надмірно завищений, що відбивається на збільшеному вмісті «опіснюючого» класу $< 0,5$ мм і сумі опіснюючих компонентів в петрографічному складі шихти, а також низькою насипною масою шихти, недостатньою спікливістю і коксуемістю шихти і, як наслідок, все це негативно позначається на якості одержуваного коксу [4].

Даний метод визначення оптимальної крупності потребує вивчення та уточнення, у зв'язку з тим, що петрографічний склад вугільної шихти не дає загальної характеристики для точного розрахунку рівня подрібнення шихти, тому він не набув великого поширення.

2.1.3 Визначення оптимального рівня подрібнення вугільної шихти з положень ВУХІНа та ДМетІ

При близьких показниках спікливості шихт процес отримання з них коксу в значній мірі залежить від властивостей окремих класів крупності, які в основному визначаються петрографічним складом вугілля і вирішальною мірою - наявністю в них дюрітових і фюзітових мікролітотипів, а також інших поганоспікливих компонентів і особливостей неспікливих мінералізованих зерен.

Всі зазначені інертні компоненти вугільної шихти концентруються в тяжких її фракціях. Дослідження показали, що найповніше їх кількість може бути виражена виходом фракції щільністю $> 1400 \text{ кг/м}^3$, при цьому оптимум подрібнення шихт, що складаються з добре збагаченого вугілля, що лежить в області більш низького помелу, ніж шихт з вугілля, що містять більшу кількість фракцій щільністю $> 1400 \text{ кг/м}^3$, як це видно з таблиці 2.1 на прикладі шихти з кузнецького вугілля з різною глибиною збагачення (фракційного складу) [2].

Таким чином, встановлення оптимального рівня подрібнення будь-якої вугільної шихти або окремих її компонентів повинно проводитися в залежності від спікливості, вмісту фракції $> 1400 \text{ кг/м}^3$, а також якості окремих класів, що залежить від схеми подрібнення.

Властивості окремих класів можна характеризувати, як зазначалося, коефіцієнтом розподілу зольності (K^A_p). Показник ефективності дії схеми подрібнення на якість коксу (P) виражається кількісно, якщо врахувати вітчизняний досвід вивчення впливу схем підготовки шихт на якість коксу. Встановлено, що для схем ДШ і ДК показник $P = 1$, ГДК- 1,025; ВД -1,063; ВДК - 1,088. Досвід показує, що для визначення оптимального помелу вугільних шихт досить знання кількості фракції $> 1400 \text{ кг/м}^3$ в класах крупністю більше 1 мм [2].

Таблиця 2.1

**Оптимальний помел вугільної шихти різної глибини збагачення і
спікливості**

Показники	Вугільна шихта, склад %: Г-10, Ж-25, КЖ-40, К10-25	
	Глибоке збагачення	Звичайне збагачення
Вологість, W^d , %	7,8	6,6
Зольність, А, %	5	8,8
Вихід летких речовин, V, %	26,1	25,9
Пластометричні показники, мм		
У	17	15
Х	34	31
Індекс спучування, мм	39	28
Фракційний аналіз, %	-	-
Фракції щільністю, кг/м^3		
>1800	1,5	5,2
>1400	7,5	13,2
<1400	92,5	86,8
Оптимальний помел (клас 3-0 мм), %	85	90

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [13]

На підставі висловлених вище положень та узагальнення даних по якості коксу, отриманих в залежності від рівня і способу подрібнення різних за складом і властивостями вугільних шихт в промислових, напівзаводських і

лабораторних умовах, отримана формула для розрахунку оптимального помелу $\Pi_{\text{опт}}$ (вміст класу 3-0 мм, %) вугільної шихти за даної схеми підготовки:

$$\Pi_{\text{опт}} = [68,6 + 8,96 (M/Y) + 3,6 (M/Y)^2] \cdot [1,0 + 0,02K^A_P - 0,03(K^A_P)^2], \quad (2.9)$$

де Y - товщина пластичного шару, мм; M - вихід фракції $> 1400 \text{ кг/м}^3$ в класах $> 1 \text{ мм}$, %; K^A_P - коефіцієнт розподілу зольності за класами крупності, %/мм.

Співвідношення M/Y відображає кількість інертної частини, що припадає на одиницю показника, що характеризує спікливість шихти, тобто ступінь її опіснення.

Регресійний аналіз показав, що отримане рівняння адекватно описує досліджені залежності (при рівні значимості 0,05).

Практичні межі застосування запропонованої формули визначені після розрахунку значень $\Pi_{\text{опт}}$ для шихт 1 і 2, діаметрально розрізняються за спікливістю, ступенем засміченості інертними компонентами, розподілом зольних частинок за класами крупності і схемами подрібнення, як це наведено нижче:

	Y , мм	M , %	K^A_P , %/мм	Схема подрібнення
шихта 1	13	25	1,1	ДШ
шихта 2	20	5	-0,5	ВДК

Розрахунки показали, що величини $\Pi_{\text{опт}}$ для шихти 1 і 2 рівні відповідно 95,2 і 69,7 % вмісту класу 3-0 мм [2].

Внаслідок особливостей математичного підходу, застосованого для отримання формули розрахунку $\Pi_{\text{опт}}$ (використовувався метод Д. Брандона), другий її співмножник, що включає коефіцієнт K^A_P , має менший вплив на величину $\Pi_{\text{опт}}$, ніж співвідношення M/Y . У зв'язку з цим при розрахунку оптимального помелу шихт додатково використовується показник P , який харак-

теризує ефективність впливу схеми подрібнення шихти на міцність коксу. При підготовці шихти за схемою ДШ (або ДК) оптимальний рівень подрібнення визначається безпосередньо з формули (2.9). Перехід на більш досконалу схему дозволяє знизити помел і розрахована величина $P_{\text{опт}}$ має бути зменшена в P разів. Тому для шихти 2 розрахунковий помел, з урахуванням підготовки її у вентильованому дробильному контурі ($P = 1,088$), дорівнює $69,7:1,088 = 64,0 \%$.

Таким чином, діапазон оптимальних помелів вугільних шихт в розглянутих межах змінюється досить значно - від 64 до 95 % вмісту класу 3-0 мм, що показує можливість суттєвого поліпшення техніко-економічних показників виробництва коксу конкретної вугільної шихти за рахунок обґрунтованого вибору її оптимального рівня і способу подрібнення [2].

З використанням розрахункового методу визначено оптимальні помели і проведені перевіірочні дослідно-промислові коксування вугільних шихт коксохімічних підприємств, що відрізняються вугільною сировинною базою. Загальні результати випробувань представлені в таблиці 2.2.

Виконані випробування підтвердили можливість розрахунковим шляхом визначати оптимальний помел вугільних шихт і ефективність його впровадження у виробництво.

Досліджено вугільні шихти інших коксохімічних підприємств і розраховані їх оптимальні рівні подрібнення (таблиця 2.3). Розрахунки показали, що для деяких вугільних шихт помел, прийнятий на виробництві, збігається з розрахунковим. В той же час є вугільні шихти, що вимагають зміни рівня подрібнення як у бік його збільшення, так і зменшення. Розроблені та реалізовані на підприємствах рекомендації по раціональній підготовці вугільних шихт.

Таблиця 2.2

**Результати дослідно-промислових випробувань вугільних шихт
різного помелу**

Підприємство	Помел шихти (клас 3-0 мм), %			Отриманий ефект
	Вихідний	Розрахунковий за методом прогнозу	Прийнятий після випробування	
1	77	74,3	74,0	Збільшення виробництва коксу на 575 тис. т
2	83	76,9	77	Збільшення виробництва коксу на 19 тис. т
3	74	76	76	Збільшення міцності коксу за малим бара- баном на 0,3 %
4	78	75,4	75	Збільшення виробництву коксу на 43,1 тис. т

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Складена інструкція по розрахунковому визначенню оптимального помелу вугільних шихт і запропонована для використання в практичній роботі коксохімічних підприємств.

Виконані з використанням запропонованого методу дослідження в порівнянні схем ДШ і групового диференційованого подрібнення компонентів шихт показали ефективність останніх при обґрунтованому об'єднанні компонентів в групи і встановленні раціонального ступеня їх подрібнення.

Таблиця 2.3

Параметри і результати розрахунків оптимальних помелів вугільних шихт коксохімічних підприємств

Підприємство	Параметри розрахунку			Помел (клас 3-0 мм), %	
	У (товщина пластичного шару), мм	М (фракція >1400 кг/м ³ у класі >1мм), мм	К _р ^А (розподілення золи за класами), %/мм	Заданий на підприємстві	Розрахунковий за методом прогнозу
А	16	12,9	0,141	78	78
Б	13	8,5	-0,109	73,5	75,8
В	17	12,1	0,449	80	76,8
Г	18	16,9	0,55	80	79,9
Д	19	13,2	0,31	78	76,6
І	17	9,4	0,185	80	74,5

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

Ще більш ефективними є схеми вибіркового подрібнення шихт, їх використання дає можливість, як зазначалося, суттєво знизити рівень подрібнення шихт і збільшити виробництво коксу без погіршення його якості в порівнянні з іншими схемами підготовки.

Даний метод визначення оптимального рівня подрібнення вугільної шихти має перевагу над іншими. В першу чергу визначення більш точного

оптимального рівня подрібнення, тому що в розрахунках враховуються спік-ливість шихти, ступінь її засміченості мінералізованими і поганоспикливими частинками, показники якості окремих класів крупності: зольність, середній діаметр окремого класу. Таким чином у наступному підрозділі буде викорис-тано саме цей метод для визначення оптимального рівня подрібнення [2].

2.2 Розрахунок оптимального рівня подрібнення вугільної шихти

Для розрахунку оптимальної крупності подрібнення вугільної шихти необхідні такі вихідні дані: розподілення зольності за класами крупності, вміст фракції щільністю $> 1400 \text{ кг/м}^3$ в класі $> 1 \text{ мм}$, спикливість шихти, яка характеризується товщиною пластичного шару. В таблиці 2.4 наведені вихідні дані зольності концентратів за класами крупності [13].

Таблиця 2.4

Диференційна характеристика зольності концентратів збагачувальних фабрик за класами крупності

Концентрати збагачувальних фабрик	Клас крупності, мм	Зольність, %
1	2	3
1 Распадська	$< 0,5$	12
	0,5-3,0	8,2
	3,0-6,0	6,9
	6,0-13,0	9,1
	$> 13,0$	9,4

Продовження таблиці 2.4

1	2	3
2 Абашевська	< 0,5	11,9
	0,5-3,0	10,3
	3,0-6,0	7,9
	6,0-13,0	8,3
	> 13,0	9,8
3 Сибір	< 0,5	8,9
	0,5-3,0	9,4
	3,0-6,0	10,8
	6,0-13,0	11,2
	> 13,0	10,3
4 Березовська	< 0,5	6,7
	0,5-3,0	7
	3,0-6,0	8
	6,0-13,0	9,4
	> 13,0	10
5 Карагандинська	< 0,5	11,2
	0,5-3,0	11
	3,0-6,0	10,8
	6,0-13,0	11
	> 13,0	12,5
6 Нерюнгрінська	< 0,5	10,2
	0,5-3,0	10
	3,0-6,0	10,4
	6,0-13,0	12,4
	> 13,0	12,8

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

В таблиці 2.5 наведені вихідні дані за якістю вугілля та складу вугільної шихти.

Таблиця 2.5

Якість вугілля і склад вугільної шихти

Найменування вуглебагачувальної фабрики	Марка	Участь в шихті, %	Технічний аналіз, %				Пластичні показники	Вміст фракції щільністю >1400 кг/м ³ в класі >1 мм	K ^A _P
			W _t ^r	A _t ^d	S _t ^d	V _ш ^{daf}			
Абашевська	Ж	33	9,5	8,6	0,47	31,3	16	7,9	0,187
Распадська	ГЖ	19	9,1	8,7	0,62	33,4	18	7,9	0,226
Сибір	КС	14	9,5	9,1	0,78	19,1	12	23,6	0,374
Нерюнгрінська	ПС	12	10,9	9,8	0,51	17,1	11	18,7	0,495
Карагандінська	КС	13	11,1	10,1	0,48	22,6	10	25,6	0,144
Березовська	КСН	9	9,3	8,8	0,47	22,0	9	10,4	0,431
Шихта		100	9,78	9,05	0,55	26,3	13,81	13,92	0,274

Примітка. Джерело: Розроблено автором

Вологість шихти

$$W_{ш}^r = \frac{33 \cdot 9,5 + 19 \cdot 9,1 + 14 \cdot 9,5 + 12 \cdot 10,9 + 13 \cdot 11,1 + 9 \cdot 9,3}{100} = 9,78 \% \quad (2.10)$$

Зольність

$$A_{\text{ш}}^{\text{d}} = \frac{33 \cdot 8,6 + 19 \cdot 8,7 + 14 \cdot 9,1 + 12 \cdot 9,8 + 13 \cdot 10,1 + 9 \cdot 8,8}{100} = 9,05 \% \quad (2.11)$$

Вміст масової частки загальної сірки

$$S_{\text{ш}}^{\text{d}} = \frac{33 \cdot 0,47 + 19 \cdot 0,62 + 14 \cdot 0,78 + 12 \cdot 0,51 +}{100} \\ + \frac{13 \cdot 0,48 + 9 \cdot 0,47}{100} = 0,55 \% \quad (2.12)$$

Вихід летючих речовин

$$V^{\text{daf}} = \frac{33 \cdot 31,3 + 19 \cdot 33,4 + 14 \cdot 19,1 + 12 \cdot 17,1 +}{100} \\ + \frac{13 \cdot 22,6 + 9 \cdot 22}{100} = 26,3 \% \quad (2.13)$$

Товщина пластичного шару:

$$y = \frac{33 \cdot 16 + 19 \cdot 18 + 14 \cdot 12 + 12 \cdot 11 + 13 \cdot 10 + 9 \cdot 9}{100} = 13,81 \text{ мм} \quad (2.14)$$

Величина оптимального рівня подрібнення шихти ($\Pi_{\text{опт}}$) визначається з емпіричного рівняння:

$$\Pi_{\text{опт}} = [68,6 + 8,96 (M/C) + 3,6 (M/C)^2] \cdot [1,0 + 0,02 K^{\text{A}}_{\text{P}} - 0,03 (K^{\text{A}}_{\text{P}})^2], \quad (2.15)$$

де $\Pi_{\text{опт}}$ - вміст у шихті класу 0-3 мм, %; M - вміст фракції щільністю $> 1400 \text{ кг/м}^3$ в класі $> 1 \text{ мм}$, %; C - спікливість шихти, яка характеризується товщиною пластичного шару, мм; K_P^A - коефіцієнт розподілу зольності за класами крупності шихти, %/мм.

Для розрахунку коефіцієнта розподілу K_P^A проба шихти розсіюється на класи, мм: > 6 , $3 - 6$, $2 - 3$, $1 - 2$, $0,5 - 1$ і $< 0,5$. Встановлюється зольність кожного класу і вміст класу $0 - 3 \text{ мм}$ [1]. K_P^A визначається із рівняння:

$$K_P^A = \left[n \sum_{i=1}^n A_i^d x_i - \sum_{i=1}^n A_i^d \sum_{i=1}^n x_i \right] / \left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right], \% / \text{мм} \quad (2.16)$$

де n - кількість класів, в яких визначалася зольність; A_i^d - вміст золи в окремому класі, %; x_i - середній діаметр окремого класу, який визначається як середнє арифметичне між верхнім і нижнім межами крупності, мм.

Визначаємо коефіцієнт розподілу K_P^A для кожної марки вугілля:

Распадська (ГЖ):

$$K_P^A = \left[6 \cdot (12 \cdot 0,25 + 8,2 \cdot 1,75 + 6,9 \cdot 4,5 + 9,1 \cdot 9,5 + 9,4 \cdot 15) - (12 + 8,2 + 6,9 + 9,1 + 9,4) \cdot (0,25 + 1,75 + 4,5 + 9,5 + 15) \right] / \left[6 \cdot (0,0625 + 3,0625 + 20,25 + 90,25 + 225) - (31)^2 \right] = 0,226 \% \quad (2.17)$$

Абашевська (Ж):

$$K_P^A = \left[6 \cdot (11,9 \cdot 0,25 + 10,3 \cdot 1,75 + 7,9 \cdot 4,5 + 8,3 \cdot 9,5 + 9,8 \cdot 15) - (11,9 + 10,3 + 7,9 + 8,3 + 9,8) \cdot (0,25 + 1,75 + 4,5 + 9,5 + 15) \right] / [1070,75] = 0,187 \% \quad (2.18)$$

Сибір (КС):

$$K_P^A = \left[6 \cdot (8,9 \cdot 0,25 + 9,4 \cdot 1,75 + 10,8 \cdot 4,5 + 11,2 \cdot 9,5 + 10,3 \cdot 15) - (8,9 + 9,4 + 10,8 + 11,2 + 10,3) \cdot (0,25 + 1,75 + 4,5 + 9,5 + 15) \right] / [1070,75] = 0,374 \% \quad (2.19)$$

Березовська (КСН):

$$K_P^A = [6 \cdot (6,7 \cdot 0,25 + 7 \cdot 1,75 + 8 \cdot 4,5 + 9,4 \cdot 9,5 + 10 \cdot 15) - (6,7 + 7 + 8 + 9,4 + 10) \cdot (0,25 + 1,75 + 4,5 + 9,5 + 15)] / [1070,75] = 0,431 \% \quad (2.20)$$

Карагандінська (КС):

$$K_P^A = [6 \cdot (11,2 \cdot 0,25 + 11 \cdot 1,75 + 10,8 \cdot 4,5 + 11 \cdot 9,5 + 12,5 \cdot 15) - (11,2 + 11 + 10,8 + 11 + 12,5) \cdot (0,25 + 1,75 + 4,5 + 9,5 + 15)] / [1070,75] = 0,144 \% \quad (2.21)$$

Нерюнгрінська (ПС):

$$K_P^A = [6 \cdot (10,2 \cdot 0,25 + 10 \cdot 1,75 + 10,4 \cdot 4,5 + 12,4 \cdot 9,5 + 12,8 \cdot 15) - (10,2 + 10 + 10,4 + 12,4 + 12,8) \cdot (0,25 + 1,75 + 4,5 + 9,5 + 15)] / [1070,75] = 0,495 \% \quad (2.22)$$

Коефіцієнт розподілу K_P^A для шихти:

$$K_P^A = \frac{33 \cdot 0,187 + 19 \cdot 0,226 + 14 \cdot 0,374 + 12 \cdot 0,495 + 13 \cdot 0,144 + 9 \cdot 0,431}{100} = 0,274 \% \quad (2.23)$$

Вміст фракції щільністю $> 1400 \text{ кг/м}^3$ в класі $> 1 \text{ мм}$ для шихти:

$$\frac{33 \cdot 7,9 + 19 \cdot 7,9 + 14 \cdot 23,6 + 12 \cdot 18,7 + 13 \cdot 25,6 + 9 \cdot 10,4}{100} = 13,92 \% \quad (2.24)$$

Величина оптимального рівня подрібнення шихти ($\Pi_{\text{опт}}$) визначається з емпіричного рівняння:

$$\Pi_{\text{опт}} = [68,6 + 8,96 (M/C) + 3,6 (M/C)^2] \cdot [1,0 + 0,02K^A_P - 0,03(K^A_P)^2], \quad (2.25)$$

де $\Pi_{\text{опт}}$ - вміст у шихті класу 0-3 мм, %; M - вміст фракції щільністю $> 1400 \text{ кг/м}^3$ в класі $> 1 \text{ мм}$, %; C - спікливість шихти, яка характеризується товщиною пластичного шару, мм; K^A_P - коефіцієнт розподілу зольності за класами крупності шихти, %/мм.

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{опт}} = & [68,6 + 8,96 \cdot (13,92 / 13,81) + 3,6 \cdot (13,92 / 13,81)^2] \cdot \\ & \cdot [1,0 + 0,02 \cdot 0,274 - 0,03 \cdot (0,274)^2] = 81,55 \% \end{aligned} \quad (2.26)$$

З урахуванням схеми вибіркового подрібнення рівень подрібнення шихти складе:

$$81,55 / 1,063 = 76,8 \% \quad (2.27)$$

2.3 Розрахунок основних технологічних показників, які обумовлюють економічну ефективність

В якості базового варіанту ступеня подрібнення вугільної шихти приймаємо розрахунок за формулою (2.8), який дорівнює 82,2 %.

При зменшенні ступеня подрібнення з 82,2 % до 76,8 % вмісту класу 3-0 мм відбувається збільшення насипної маси вугільної шихти.

Залежність насипної густини від ступеня подрібнення на підставі виробничих даних приведена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Залежність насипної густини від ступеня подрібнення

№ п/п	Ступінь подрібнення	Насипна густина	Ступінь подрібнення	Насипна густина
1	82,65	0,799	75,56	0,819
2	82,09	0,806	76,8	0,816
3	81,74	0,785	76,7	0,818
4	81,63	0,802	76,7	0,823
5	81,96	0,808	76,9	0,822
6	82,0	0,806	76,8	0,821
Середнє	82,0	0,801	76,6	0,82

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

На кожний 1 % зменшення ступеня подрібнення відбувається збільшення насипної маси на:

$$(0,82 - 0,801) / (82,0 - 76,6) = 0,0035 \text{ г/м}^3 \quad (2.28)$$

При зменшенні ступеня подрібнення на 5,4 % (82,2 – 76,8) насипна густина збільшиться на:

$$5,4 \cdot 0,0035 = 0,019 \text{ г/м}^3 \text{ або на } 2,3 \% \quad (2.29)$$

Відповідно, на 2,3 % збільшиться вихід валового коксу, тобто продуктивність підприємства зросте на 2,3 % і складе по валовому коксу:

$$3000000 \cdot 1,023 = 3069000 \text{ т/рік} \quad (2.30)$$

З урахуванням $V_{\text{ш}}^d$ (таблиця 2.5) вихід валового коксу складе 79,4 %.

Тоді продуктивність заводу за шихтою складе:

$$3000000/0,794 = 3778337,5 \text{ т/рік} \quad (2.31)$$

$$3778337,5 \cdot 1,023 = 3865239,3 \text{ т/рік} \quad (2.32)$$

Визначаємо питомі витрати електроенергії в операції подрібнення для базового та дослідного варіанту розрахунку крупності подрібнення:

$$E = 3,65 / K [\lg(\frac{100}{R^k}) - \lg(\frac{100}{R^B})], \quad (2.33)$$

де K – коефіцієнт розмельності, приймаємо 1,4; R^k , R^B - залишок на ситі 3 мм відповідно у продукті подрібнення і вихідному вугіллі, %.

Вміст класу 0-3 мм в вихідному вугіллі (живленні дробарки) визначаємо з графіку кумулятивної характеристики крупності концентратів вуглезбагачувальних фабрик за правилом адитивності [13].

$$45 \cdot 19 + 43 \cdot 33 + 55 \cdot 14 + 52 \cdot 9 + 51 \cdot 13 + 36 \cdot 12 / 100 = 46,07 \% \quad (2.34)$$

Розраховуємо питому витрату електроенергії для 1 варіанту крупності подрібнення:

$$R^B = 100 - 46,07 = 53,93 \% \quad (2.35)$$

Приймаємо крупність подрібнення, рівну 82,2 % класу 0-3 мм. Тоді $R^k = 100 - 82,2 = 17,8$ %.

$$E = 3,65 / 1,4 [\lg(\frac{100}{17,8}) - \lg(\frac{100}{53,93})] = 1,26 \text{ кВт} \cdot \text{год/т} \quad (2.36)$$

Розраховуємо питому витрату електроенергії для 2 варіанту крупності подрібнення:

Приймаємо крупність подрібнення, рівну 76,8 % класу 0-3 мм. Тоді $R^k = 100 - 76,8 = 23,2$ %.

$$E = 3,65 / 1,4 [\lg(\frac{100}{23,2}) - \lg(\frac{100}{53,93})] = 0,96 \text{ кВт} \cdot \text{год/т} \quad (2.37)$$

2.4 Висновки до основної частини

В основній частині проаналізовано розрахункові методи визначення оптимального рівня подрібнення вугільних шихт. Наведено метод розрахунку рівня подрібнення з урахуванням ступеня змішування шихти, який є не практичний у використанні, важкий у зв'язку з великою кількістю формул та додаткових параметрів вугілля.

Також проаналізовано метод визначення оптимальної крупності за марочним складом. Цей метод можливий у використанні, але він є досить неточним, у зв'язку з тим, що не завжди марки вугілля відповідають дійсному стану.

Метод визначення оптимальної крупності за петрографічним складом з використанням показників R_0 за рефлектограмами більш точний, але потребує додаткових лабораторних досліджень.

Тому в роботі було досліджено метод, який є найкращим для розрахунку оптимального рівня подрібнення вугільної шихти, тому що він враховує спікливість шихти, розподіл зольності за класами крупності, глибину збагачення вугілля. Виконано розрахунок оптимального рівня подрібнення для обраної вугільної шихти, з урахуванням схеми вибіркового подрібнення, який склав $\Pi_{\text{опт}} = 76,8$ %.

Також було розраховано основні технологічні показники, які обумовлюють економічну ефективність, такі як питомі витрати електроенергії в операції подрібнення для базового та дослідного варіанту розрахунку крупності подрібнення, які склали відповідно 1,26 кВт·год/т та 0,96 кВт·год/т.

ВИСНОВКИ

У результаті виконаного дослідження встановлено, що ступінь подрібнення вугільної шихти належить до ключових технологічних параметрів, які визначають якість доменного коксу, насипну щільність шихти та ефективність роботи коксохімічного виробництва в цілому.

Підтверджено, що як недостатнє, так і надмірне подрібнення шихти негативно позначається на показниках якості коксу. При недостатньому помелі не забезпечуються належні умови формування коксового пирога, тоді як переподрібнення супроводжується зростанням частки опіснюючих компонентів і погіршенням коксівних властивостей шихти.

Визначено, що зміна ступеня подрібнення істотно впливає на насипну щільність вугільної шихти, а отже — на умови завантаження камер коксування та перебіг технологічного процесу. Це підтверджує необхідність урахування даного показника при виборі режимів подрібнення.

Аналіз відомих розрахункових підходів показав, що окремі методи мають обмежене практичне застосування через складність розрахунків, потребу у додаткових лабораторних дослідженнях або недостатню точність за умов змінної сировинної бази.

Найбільш доцільним для практичного використання є метод визначення оптимального ступеня подрібнення, який враховує спікливість шихти, розподіл зольності за класами крупності та глибину збагачення вугілля, що забезпечує більш повну оцінку властивостей сировини.

Для досліджуваної вугільної шихти з урахуванням вибіркового подрібнення розраховано оптимальний рівень помелу, який становить 76,8 %. Отримане значення може бути використане як раціональний орієнтир при налаштуванні режиму подрібнення.

Встановлено, що застосування розрахованого оптимального режиму сприяє зниженню питомих витрат електроенергії на подрібнення з 1,26 до

0,96 кВт·год/т, що свідчить про підвищення енергоефективності процесу підготовки шихти.

Отримані результати підтверджують, що обґрунтований вибір ступеня подрібнення є дієвим резервом покращення якості коксу та зменшення виробничих витрат, а використання розрахункових методів є перспективним напрямом удосконалення технології підготовки вугільних шихт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Грязнов Н.С. Основы теории коксования. М.: Металлургия, 1976. 312 с.
- 2 Скляр М.Г. Фізико-хімічні основи спікання вугілля. М.: Металлургія, 1984. 200 с.
- 3 Тайц Є.М. Властивості кам'яного вугілля та процес утворення коксу. – М.: Металургіздат, 1961. 300 с.
- 4 Lyalyuk, V.P, Shmeltser, E.O., Kassim, D.A. Improving the technology production of coke for blast furnace smelting. Octan Print, Praga: 2022. – 197 p.
<https://doi.org/10.46489/ITPROС-229>
- 5 Браун Н.В., Глущенко І.М. Перспективні напрями розвитку коксохімічного виробництва. М.: Металлургія, 1989. 272 с.
- 6 Глущенко І.М. Прогноз якості коксу. М.: Металлургія, 1976. 200 с.
- 7 Зашквара В.Г., Дюканов А.Г. Технологія коксохімічного виробництва. М.: Металлургія, 1981. 60 с.
- 8 Лейбович Р.Е., Яковлева Є.І., Філатова А.Б. Технологія коксохімічного виробництва. М.: Металлургія, 1982. 360 с.
- 9 Діденко В.Є. Технологія приготування вугільних шихт для коксування. К.: Вища школа, 1989. 288 с.
- 10 1 Іванов Є.Б., Мучник Д.А. Технологія виробництва коксу. К.: Вища школа, 1976. 232 с.
- 11 Довідник коксохіміка: у 6 т. Харків: Видавничий дім «ІНЖЕК», 2010.
Т. 1: Вугілля для коксування. Збагачення вугілля. Підготовка вугілля до коксування / заль. ред. Борисова Л.Н., Шаповала Ю.Г. 536 с.
- 12 Ковальов Є. Т., Дроздник І. Д. Основні напрями досліджень інституту в галузі розробки вугільної сировинної бази для коксохімічних підприємств України. *Вуглехімічний журнал*. 2020. № 3. С. 8 – 15.
- 13 Саранчук В. І., Ільяшков М. О., Ошовський В. В., Білецький В. С. Основи хімії і фізики горючих копалин: підручник. Донецьк : Східний видавничий дім, 2008. 640 с.

- 14 Чернишов Ю.А., Овчинникова С.А., Подлубний А.В. та ін. Використання петрографічних характеристик та нових комплексних показників для оцінки властивостей вугілля та міжбасейнових шихтів ВАТ «Запоріжжкокс». *Вуглехімічний журнал*. 2009. №1-2. С. 12-20.
- 15 Братичак М.М., Піш'єв С.В., Рудкевич М.І. Хімія та технологія переробки вугілля. Підручник. – Львів: Бескид Біт, 2006. – 272 с.
- 16 Лялюк В.П., Шеремет В.А., Кекух А.В. Організація раціонального дроблення вугільної шихти – шлях до підвищення якості коксу для доменної плавки. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2010. №2. С. 48-52.
- 17 Посохов М.Ю., Сухоруков В.І., Чень Кай. Перша установка вибіркового подрібнення в Китаї. *Кокс і хімія*. 2006. №7. С. 5-8.
- 18 Сухоруков В.І. Наукові основи та вдосконалення підготовки й коксування вугілля. *Кокс і хімія*. 1992. №12. С. 2–5.
- 19 Дроздник І.Д., Мірошніченко Д.В., Ладжинський В.М., Бесщастний Ю.В., Топоркова Н.І. Удосконалення схем підготовки вугілля в умовах міжбасейнової сировинної бази коксування. *Вуглехімічний журнал*. 2010. №3-4. С.17-24.
- 20 Гусак В.Г., Дроздник І.Д. Про сортову структуру та технологічні властивості вугілля, що імпортується в Україну для коксування. *Вуглехімічний журнал*. 2011. № 1-2. С. 3–11.
- 21 Попов Є.С., Гаврилюк В.І., Ковальов Є.Т., Дроздник І.Д., Бідоленко Н.Б. Вугільна сировинна база коксохімічного виробництва ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ»: стан та перспективи розвитку. *Вуглехімічний журнал*. 2017. № 1-2. С. 3-9.
- 22 Данілов А.Б., Вердибоженко Г.С., Соловійов М.А., Карпо А.А., Трубников С.І., Дроздник І.Д., Мірошніченко Д.В. Оптимізація технологічних параметрів підготовки вугільної шихти в умовах ВАТ «Алчевськкокс». *Вуглехімічний журнал*. 2010. №1-2. С.3-11.

- 23 Медянцев С.А., Полукетов І.Е., Дудяк В.Н., Казаков В.В., Дрозднік І.Д., Мірошніченко Д.В. Вдосконалення технологічної схеми підготовки вугільної шихти до коксування на ВАТ «Ясинівський КХЗ». *Вуглехімічний журнал*. 2001. №1-2. С.12-17.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

161-07д-д

Автор

161-07д-д

Науковий керівник / Експерт

Шмельцер К.О.

ІД документу

334137333

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/2/2026

Дата редагування

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.

5.36%

5.36%

КП 1

8493

Кількість слів

0.54%

0.54%

КЦ

63007

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		5
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		43

Джерела

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

НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)

КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ
(ФРАГМЕНТІВ)

Д О В І Д К А

про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

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

*Аналіз та шляхи зменшення витрат поглинального масла для вилучення
бензольних вуглеводнів*

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

КУЧМАН Олександр Миколайович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії,

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 67 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 5,36 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК

(подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

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

Керівник підрозділу _____

(підпис)

К. Шмельцер

Дата «12» червня 2026 р.

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

ДОВІДКА
про підготовку здобувача

Кучман Олександр Миколайович
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна бакалаврська робота

Тема кваліфікаційної роботи Вибір методики визначення оптимального ступеню подрібнення шихти для оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів

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

Оцінки по розділах роботи

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

Зав. кафедри _____

(підпис)

К.О. Шмельцер
(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра

Здобувача Кучмана Олександра Миколайовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-22

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Вибір методики визначення оптимального ступеню подрібнення шихти для
оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	_____ ;
таблиць	_____ ;
схем і рисунків	_____ ;
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	_____ -.

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена оптимізації підготовки вугільних шихт в умовах погіршення сировинної бази та зростання частки імпортного вугілля. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності роботи вуглепідготовчих цехів та зниження енерговитрат на стадії подрібнення шихти. У роботі розглянуто взаємозв'язок між ступенем подрібнення, насипною щільністю шихти, формуванням коксового пирога та якістю одержуваного коксу.

Проведено аналіз переваг, недоліків та обмежень застосування різних підходів до визначення оптимального ступеня помелу. Встановлено доцільність використання методу, який враховує спікливість шихти, розподіл зольності за класами крупності та глибину збагачення вугілля. Визначено оптимальний рівень подрібнення досліджуваної шихти та показано можливість зниження питомих витрат електроенергії на подрібнення.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Недостатньо розглянуто вплив мінералогічного та петрографічного складу вугілля на вибір оптимального ступеня подрібнення для різних типів шихт. В деяких місцях пояснювальної записки допущені стилістичні та орфографічні помилки та огріхи, в тексті зустрічається невдалий та некоректний переклад.

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

Здобувач Кучман О.М. під час написання кваліфікаційної роботи бакалавра показав добру загальну та спеціальну підготовку, вміння працювати з літературними та нормативними джерелами. Над розділами роботи працював самостійно, висновки та розроблені рекомендації є актуальними, ефективними та обґрунтованими.

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота виконана на актуальну тему, характеризується практичною спрямованістю, містить обґрунтовані технологічні рішення та має наукову і прикладну цінність.

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра добре/80/В

Керівник Шмельцер Катерина Олегівна
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Зав.кафедри, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« 12 » червня 2026 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 Кучмана Олександра Миколайовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи ХТ-22	
Тема кваліфікаційної роботи	<u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Вибір методики визначення оптимального ступеню подрібнення шихти для оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів	
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи	<u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Вибір та обґрунтування методики визначення оптимального рівня подрібнення вугільної шихти	
Переваги кваліфікаційної роботи	<u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Кваліфікаційна робота присвячена оптимізації підготовки вугільних шихт в умовах погіршення сировинної бази та зростання частки імпортного вугілля.	
У роботі розглянуто взаємозв'язок між ступенем подрібнення, насипною щільністю шихти, формуванням коксового пирога та якістю одержуваного коксу.	
Проведено аналіз переваг, недоліків та обмежень застосування різних підходів до визначення оптимального ступеня помелу.	
Недоліки кваліфікаційної роботи	<u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Обмежена експериментальна складова дослідження. Основна увага приділена аналізу розрахункових методів, тоді як експериментальна перевірка отриманих результатів висвітлена недостатньо. В деяких місцях пояснювальної записки допущені помилки в оформленні та неточність перекладу.	
Рекомендації: робота виконана на актуальну тему, має практичну цінність, містить обґрунтовані результати і рекомендації, а зазначені недоліки не мають принципового характеру та не впливають на загальну позитивну оцінку.	
Робота може бути рекомендована до захисту.	
Рецензент	

(прізвище, ім'я та по-батькові)

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

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

Я, *Кучман Олександр Миколайович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Вибір методики визначення оптимального ступеню подрібнення шихти для оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

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

12.06.2026