

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**

*Слепцова Данили Васильовича*

на тему                      Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим  
на вихід і якість продуктів коксування

науковий керівник к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Шмельцер К.О.

**Робота допущена до захисту в ЕК**

Протокол засідання кафедри  
від 12.06.2026 р. №16

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
к.т.н., доцент Шмельцер К.О.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Хімічних технологій та інженерії

доцент, к.т.н.

Шмельцер К.О.

(посада, вчене звання,  
прізвище ініціали)

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Слєтцова Данили Васильовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим на вихід і якість продуктів коксування

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 № №228-ст від «6» квітня 2026 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра \_\_\_\_\_

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

4.1 Аналітична частина: Вимоги до якості коксу в умовах інтенсифікації доменної плавки. Аналіз основних напрямків та способів підвищення якості

коксу в існуючих сировинних умовах роботи коксохімічного виробництва. Аналіз технологічних схем підготовки вугільної шихти методом брикетування.

Способи ущільнення вугільної шихти методом брикетування

4.2 Основна частина: Дослідження процесу часткового брикетування вугільної шихти. Обґрунтування напрямків та вибір методики досліджень. Варіанти технологічної схеми брикетування шихти. Забезпечення установки брикетування зв'язуючим матеріалом. Технологічна схема прийому й зберігання зв'язуючого.

Дослідження впливу часткового брикетування вугільної шихти на якість коксу. Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим на вихід і якість продуктів коксування. Дослідження впливу коксу із частково брикетованої шихти на роботу доменних печей. Аналіз впливу дослідної технології на показники вугільної шихти

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	12.05.26	
2.	Основна частина	26.05.26	
3.	Оформлення пояснювальної записки	30.05.26	
4.	Подання роботи до кафедри	02.06.2026	
5.	Захист роботи в ЕК	18.06.2026	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ Слепцов Д.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

**Керівник кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ Шмельцер К.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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



## АНОТАЦІЯ

Слепцов Д.В. Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим на вихід і якість продуктів коксування. - Рукопис.

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

Мета роботи - дослідження та комплексна оцінка впливу технологічних параметрів часткового брикетування вугільної шихти із використанням органічного зв'язуючого на матеріальний баланс (вихід) та фізико-хімічні показники якості одержуваних продуктів коксування.

Об'єкт дослідження - технологічний процес підготовки та коксування вугільних шихт різного компонентного складу на коксохімічних виробництвах.

Предмет дослідження - закономірності зміни виходу хімічних продуктів коксування, коксового газу, а також показників механічної міцності, реакційної здатності (CRI) та міцності коксу після реакції (CSR) залежно від частки брикетів у шихті та природи зв'язуючого.

Сучасна коксохімічна промисловість України функціонує в умовах гострого дефіциту високоякісного коксівного вугілля та постійного зростання вартості сировини. Традиційне пошарове коксування висуває жорсткі вимоги до спікливості вугільної шихти. Впровадження технології часткового брикетування шихти з додаванням зв'язуючих речовин є вкрай актуальним технічним рішенням. Воно дозволяє залучати до виробництва дешеве слабоспикливе та дрібнодисперсне вугілля без зниження міцності цільового коксу, що суттєво оптимізує собівартість продукції та розширює сировинну базу підприємств.

*Ключові слова:* вугільна шихта, часткове брикетування, зв'язуюче, коксування, вальцевий прес, вихід продуктів, якість коксу, механічна міцність, реакційна здатність, міцність після реакції, слабоспикливе вугілля, сировинна база, вуглепідготовка, Брикетин-1.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Вимоги до якості коксу в умовах інтенсифікації доменної плавки	10
1.2 Аналіз основних напрямків та способів підвищення якості коксу в існуючих сировинних умовах роботи коксохімічного виробництва	16
1.3 Аналіз технологічних схем підготовки вугільної шихти методом брикетування	17
1.3.1 Способи ущільнення вугільної шихти методом брикетування	17
1.3.2 Зв'язуюче для виробництва брикетів	18
1.3.3 Вплив добавки брикетів на насипну щільність вугільної шихти	20
1.4 Висновки до аналітичної частини	22
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	23
2.1 Дослідження процесу часткового брикетування вугільної шихти	23
2.1.1 Обґрунтування напрямків та вибір методики досліджень	23
2.1.2 Варіанти технологічної схеми брикетування шихти	24
2.1.3 Забезпечення установки брикетування зв'язуючим матеріалом	29
2.1.4 Технологічна схема прийому й зберігання зв'язуючого	33
2.2 Дослідження впливу часткового брикетування вугільної шихти на якість коксу	39
2.2.1 Аналіз впливу дослідної технології на показники вугільної шихти	39
2.2.2 Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим на вихід і якість продуктів коксування	41
2.2.3 Дослідження впливу коксу із частково брикетованої шихти на роботу доменних печей	47
2.2.4 Розробка методу збільшення виходу валового коксу при частковому брикетуванні вугільної шихти	48
2.3 Розрахунок технологічного обладнання	51
2.4 Заходи із охорони праці та безпеки життєдіяльності	53

2.4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників в умовах брикетної фабрики	53
2.4.2 Заходи щодо зниження та усунення шкідливих та небезпечних чинників у вуглепідготовчому цеху	56
2.4.3 Пожежна безпека	60
2.5 Висновки до основної частини	61
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

## ВСТУП

Постійна увага до питань якості коксу протягом багатьох років обумовила значне виснаження резервів технології в цьому напрямку. Проте, внаслідок безперервного погіршення сировинної бази коксування й специфіки коксового процесу виробництва, одержання високоміцного коксу, досить однорідного за крупністю кусків, не забезпечується. Мокре гасіння, застосовуване на більшості заводів, приводить до появи вологи в коксі. Весь цикл технологічного процесу виробництва коксу в аспекті якості продукту практично не керуємий. У цих умовах задоволення підвищених вимог до властивостей доменного коксу виростає в серйозну проблему, що має велике народногосподарське значення, оскільки в собівартості чавуну приблизно половину становить вартість коксу, а властивості останнього обумовлюють його питому витрату й можливість інтенсифікації доменного процесу.

Останні роки в шихтах для коксування систематично знижується кількість добреспіктивного вугілля у зв'язку зі скороченням його видобутку. Поряд з погіршенням марочного вмісту, сучасна вугільна сировинна база характеризується нестабільністю (як по марочному вмісту, так і по технологічним властивостям) і нерівномірністю поставок по підприємствах [1]. При існуючій сировинній базі коксування одним з напрямків, який забезпечує сучасні вимоги металургів до якості коксу, є новітні технології підготовки вугільної шихти до коксування. Поліпшення якості коксу можна здійснити за допомогою вдосконалювання підготовки вугільної шихти для коксування та варіювання технологічних факторів виробництва: підбором диференційованого складу шихти з врахуванням марочного та петрографічного складу вугілля; вибірковим подрібненням вугілля перед коксуванням; глибоким сушінням і термічною підготовкою вугільної шихти; трамбуванням, брикетуванням частини вугільної шихти, обробкою шихти різними органічними та неорганічними добавками, введенням у шихту відходів гуми, пластику.

Часткове брикетування вугільної шихти перед коксуванням є ефективною технологією, що забезпечує істотне зменшення в шихтах для коксування кількості добреспікливого вугілля із одночасною стабілізацією й поліпшенням фізичних і хімічних властивостей коксу [1].

Технологія процесу полягає в брикетуванні частини шихти зі зв'язуючим, змішанні брикетів з небрикетованою частиною шихти й коксуванні отриманої суміші[1]. Позитивний технологічний ефект забезпечує підвищення насипної щільності коксуемого завантаження (за рахунок додавання в шихту брикетів), а також деяке підвищення спікливості шихти (за рахунок зв'язуючого, як спікливої добавки, що входить до складу брикетів).

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Вимоги до якості коксу в умовах інтенсифікації доменної плавки

Вимоги до якості коксу визначаються його функціями у процесі виробництва чавуну. До основних функцій коксу відносяться:

- паливо для забезпечення теплових процесів, що відбуваються в доменній печі, необхідних для нагрівання шихти і її плавлення;
- реагент-відновлювач;
- забезпечення газопроникності шихтових матеріалів, так як кокс займає значну частину об'єму доменної печі і є найбільш міцним термостійким матеріалом.

Поряд з основними технологічними функціями коксу в доменному процесі, а саме, енергоносій, відновлювач і розпушувач, останнім часом виділяють додаткові дві:

- адсорбент (збирач пилоподібних і газоподібних продуктів у фурменій зоні);
- джерело дріб'язку, що знижує плинність шлаків, а отже й газопроникність стовпа шихтових матеріалів у доменній печі.

Із цих функцій випливають очевидні вимоги до його якості:

- як паливо кокс повинен містити максимальну кількість вуглецю та мати необхідну горючість стосовно кисню повітря;
- як джерело та генератор відновлювальних газів він повинен мати певну реакційну здатність стосовно диоксиду вуглецю та водяної пари;
- для забезпечення газопроникності стовпа шихтових матеріалів і збереження дренажної здатності по досягненні нижньої частини печі кокс повинен руйнуватися в мінімальному ступені, зберігаючи певний гранулометричний склад та середній розмір кусків. У той же час кокс є одним із забруднювачів доменного процесу плавки металів, впливаючи на якість одержуваного чавуну та продуктивність доменної печі залежно від вмісту в ньому золи, сірки, фосфору, вологи, летючих сполук.

Незважаючи на наявні державні стандарти та технічні умови на якість коксу, доменщики регулярно висувають різні специфічні вимоги, які обмовляються в конкретних договірних умовах на поставки коксу для металургійних комбінатів, так як використання коксу, високої якості, забезпечує стабільність технологічного режиму плавки та високі техніко-економічні показники роботи доменних печей.

Нині відповідно до чинних нормативно-технічних документів вибрані і використовуються повною мірою показники, що найбільш повно характеризують сукупність властивостей коксу з технологічної точки зору : зольність, сірчистість, робоча вологість, міцність ( $M_{25}$ ,  $M_{10}$  або  $M_{40}$ ), масова доля кусків розміром більше 80 мм і менше 25 мм. Причому, усі ці показники чітко і безперечно впливають на витрату коксу в доменній печі і прийняті як нормативні.

При дослідженні якості коксу важливу роль грає механічна міцність коксу, за показниками міцності кусків коксу  $M_{25}$  та стиранності  $M_{10}$ . Забезпечити високі техніко-економічні показники роботи доменних печей можливо при покращенні механічної міцності до рівня по показникам  $M_{25}$  - 89-90 % та  $M_{10}$  - 5-6 %. Доменниками визначено, що переважніше використовувати кокс із невеликими розмірами кусків, відносно вузького гранулометричного складу (60-40 мм) за умови, що куски коксу є стійкими до стирання. Це обґрунтовано необхідністю забезпечення газопроникності всього стовпа плавильних матеріалів у доменній печі завдяки зближенню гранулометричного складу коксу й рудної частини доменної шихти. Більше того, невеликі куски коксу (25 мм) менше дробляться, чим більші. Для покращеної роботи домни, що працює на підготовленій шихті, необхідно, щоб розмір кусків коксу був не нижче 25-30 і не вище 60-80 мм

Таким чином, крупність, форма і рівномірність фракційного складу коксу визначають газопроникність його насипної маси, величину поверхні в одиниці маси, а, отже, і інтенсивність гетерогенних реакцій взаємодії вуглецю коксу, що йдуть на поверхні, з киснем дуття і вуглекислим газом.

Оскільки кокс є головним джерелом теплової і відновної енергії, важливою вимогою є максимальний вміст в коксі нелеткого вуглецю і низький вміст мінеральних домішок (золи). Вміст  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  в золі коксу досягає 70-80 %, отже зола має істотно кислотний характер.

Зольність коксу впливає на вміст вуглецю, вихід і основність доменного шлаку і міцність коксу.

Кокс, згоряючи в доменній печі, дає тепло і є джерелом одержання відновника оксидів заліза - CO. При збільшенні вмісту золи в коксі зменшується вміст C, теплота згорання коксу і кількість відновлювальних газів, що утворюються в печі. Збільшення вмісту золи у коксі на 1 % знижує продуктивність доменної печі і збільшує питомі витрати коксу на 1,3 % [1].

Якщо мінеральні складові коксу є баластом, то сірка, що обов'язково присутня у будь-якому вугіллі й на 80 % переходить в кокс, є самим шкідливим елементом. Сірка переходить у чавун і в сталь, погіршуючи її якість. В результаті досліджень вітчизняних і зарубіжних учених встановлено, що при зниженні вмісту сірки коксу на 0,1 % витрата коксу зменшиться на 0,18-0,71 % [1].

Не менш важливими кількісною характеристикою якості коксу є вміст у ньому фосфору. Небажаними компонентами коксу є також оксиди калію і натрію. Присутність лугів в коксі підвищує його реакційну здатність і знижує «гарячу» міцність.

Вологість готового коксу, в залежності від режиму гасіння, не повинна перевищувати 5 %. Мінімальну вологість (0,1-0,5 %) отримують при сухому гасінні коксу, коли замість зрошування водою охолодження ведеться в струмі газу [2].

Вміст залишкових летючих речовин в коксі залежить від температури і тривалості процесу коксування. Вихід летких речовин в коксі не повинен перевищувати 1,0 %.

Нині широко застосовується показники міцності коксу після реакції з діоксидом вуглецю при 1100 °C - CSR і реакційної здатності CRI, які пов'язані

між собою функціонально. Вони характеризують поведінку коксу в доменній печі при високих температурах в процесі виплавки чавуну. З підвищенням значень показника CSR зменшується руйнування коксу в печі, покращується проникність для газів і рідин в зоні плавлення доменної печі, підвищується продуктивність, знижуються викиди шкідливих речовин і так

Для високої продуктивності печей і зниження витрати відновників показник CSR коксу має бути на рівні  $> 60 \%$ , а  $CRI \leq 30 \%$ .

Для одержання доменного коксу високої якості необхідне, в першу чергу, високоякісне коксівне вугілля. У зв'язку з дефіцитом останнього, в Україні, на коксохімічних заводах змушені вводити в шихту для коксування значні кількості слабоспівливих та неспівливих марок вугілля, а також змінювати умови та режими коксування, що негативно позначається на якості доменного коксу. Основна кількість коксу, що випускається в Україні, має низьке значення показників післяреакційної міцності та реакційної здатності ( $CRI < 50 \%$ ,  $CSR > 35 \%$ ), що не відповідає сучасним вимогам висунутим до коксу. Однак на деяких КХВ України, завдяки інтенсифікації виробництва (трамбування, брикетування, обмаслювання), одержують високоякісний кокс. Слід зауважити, що кокс повинен бути не тільки високоякісним, але і підходити для окремої доменної печі. Так, на думку дослідників ВАТ «Донецьк-МЗ» [2], які вивчали поведінку коксу в доменній печі, складність є в підборі якості коксу для оптимізації роботи конкретної доменної печі. Результати роботи печей на коксі різних постачальників чітко демонструють зроблені висновки (табл. 1.1) [2].

На витрату коксу (продуктивність доменної печі) впливають наступні показники його якості: зольність; вміст загальної сірки; міцність; стиранистість вміст фракції + 80 мм. Вплив цей здійснюється як безпосередньо через функції, виконувани коксом у доменній печі так і через зміни кількості шлаків і сирого флюсу.

Таблиця 1.1.

**Аналіз роботи доменних печей на коксі різних постачальників**

Показники роботи доменних печей	Одиниця виміру	Кокс	
		КД-1	Преміум - 2
Питома продуктивність	т/м <sup>3</sup> добу	1,402	1,452
Витрата коксу	т/добу	478,36	465,4
Природний газ	м <sup>3</sup> /добу	93	105
Антрацит	кг/т	34	-
Температура дуття	°С	948	958
Вміст O <sub>2</sub> в дутті	кПа	21,9	22,5
Тиск під колошником	%	0,88	1,04
Вміст Si в чавуні	%	0,79	0,72
Вміст S в чавуні	%	0,025	0,022
Вміст Mn в чавуні	%	0,05	0,12
Вміст Fe у шихті	%	54,31	54,03
Витрата доломиту вапняку	кг/т	108,3	81
<b>Якість коксу</b>			
Вміст золи	%	10,67	11,03
Вміст сірки	%	0,92	0,81
M <sub>25</sub> (M <sub>40</sub> )	%	86,8	78,58
M <sub>10</sub>	%	6,43	6,94
+ 80 мм	%	2,94	6,2

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]

Для оцінки механічної міцності коксу в холодному стані частіше застосовують показник I<sub>40</sub>, що більш точно характеризує поведження коксу в доменній печі, чим показник M<sub>40</sub>. Фактичне значення I<sub>40</sub> коксу становить 46,6-61,0 % [3]. Щоб кокс був максимально стабілізований, вільний від тріщин; необхідний показник I<sub>40</sub> повинен бути > 50 %, M<sub>25</sub> - 89-90 % та M<sub>10</sub> - 5-6 %.

За результатами роботи металургійних підприємств України в 2008 році тільки в доменні печі ВАТ «Алчевській МК» завантажували кокс з високими показниками холодної міцності коксу (M<sub>25</sub> - 87-88 %; M<sub>10</sub> - 7,5) (таблиця 1.2), тоді як доменні цехи ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» отримували кокс значно гіршої якості за показниками M<sub>25</sub> та M<sub>10</sub> і вмісту золи (такої ж якості кокс поступає і в 2009 році) [3]. Усе це впливає на рівності ходу і

продуктивності печей, витрати коксу і температуру чавуну [3]. Негативні тенденції в забезпеченні доменного виробництва України якісним коксом пов'язані, в першу чергу, зі зменшенням запасів добре спікливого вугілля марок К і Ж і вимушеним введенням в шихту вугілля газової і пісної групи.

Нині якість коксу, що поставляється в доменні цехи металургійних заводів України, є основним чинником, що визначає невисокі техніко-економічні показники їх роботи порівняно з аналогічними цехами зарубіжних підприємств.

Таблиця 1.2.

Якість коксу, використовуваного на підприємствах України в 2008 році

Найменування підприємства	S, %	A, %	+80 мм	M <sub>25</sub> , %	M <sub>10</sub> , %	W, %
ПАТ «Макіївський МЗ»	1,33	11,62	12,03	85,67	7,92	4,41
ПАТ «Єнакіївський МЗ»	1,38	11,82	8,69	87,58	7,79	2,87
ПАТ «МК Азовсталь»	1,31	11,75	6,29	87,97	7,60	3,30
ПАТ «Донецьксталь – МЗ»	1,09	11,03	6,41	87,49	7,36	4,46
ДП № 1	1,10	11,08	8,01	87,52	7,40	4,43
ДП № 2	1,07	10,93	3,38	87,42	7,27	4,53
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	0,73	12,52	10,49	84,97	8,57	3,77
Цех № 1	0,75	12,90	10,70	85,10	8,90	3,60
Цех № 2	0,70	12,00	10,20	84,80	8,10	4,00
ПАТ «Алчевській МК»	0,95	11,08	5,00	88,49	6,00	2,63

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]

В той же час багато металургійних підприємств України планують впровадження на доменних печах технології вдування пиловугільного палива (ПВП). Ця технологія дозволяє значно знизити питомі витрати коксу і інших відновників, але робить жорсткими вимоги до його якості.

Таким чином, якісний кокс, що відповідає сучасним потребам металургів, має відповідати наступним вимогам: M<sub>25</sub> >90 %; M<sub>10</sub> < 6 %; CSR > 66 %; CRI < 26%; A<sup>d</sup> = 6,9-7,5 %; V<sup>daf</sup> = до 1 %; S<sub>t</sub><sup>d</sup> = 0,5-0,7 %; крупність - максимальний вміст класу 60-40 мм.

## 1.2 Аналіз основних напрямків та способів підвищення якості коксу в існуючих сировинних умовах роботи коксохімічного виробництва

Поліпшення якості коксу, у тому числі і за показниками CSR і CRI, можна здійснити за допомогою вдосконалювання підготовки вугільної шихти для коксування та варіювання технологічних факторів виробництва: підбором диференційованого складу шихти з врахуванням марочного та петрографічного складу вугілля; вибірковим подрібненням вугілля перед коксуванням; глибоким сушінням і термічною підготовкою вугільної шихти; трамбуванням, брикетуванням частини вугільної шихти, обробкою шихти різними органічними та неорганічними добавками, введенням у шихту відходів гуми, пластику, швидкістю нагрівання, варіюванням кінцевої температури коксування та позапічною обробкою коксу різними хімічними методами.

Погіршення у вугільній базі коксування відзначалися багатьма фахівцями вже в середині минулого століття, коли були запропоновані і розроблені основні напрями і способи підвищення якості коксу в існуючих сировинних умовах (табл. 1.3) [5].

Таблиця 1.3

### Основні способи підвищення якості коксу

Основні напрями	Способи
Підготовка вугілля і шихт для коксування	1. Підбір оптимального марочного складу вугілля (кількість Ж, К і ПС, показник відбиття вітриніту, вихід летючих, товщина пластичного шару, зола, волога, сірка та ін.) 2. Збільшення насипної маси вугільної шихти (зниження вологості, виборче подрібнення, гранулювання, брикетування, трамбування формування в пластичному стані, термічна підготовка)
Зниження градієнта усадок шихти при її коксуванні	1. Зниження вологості. 2. Термічна підготовка.
Зміцнення тіла коксу	1. Підвищення температури коксування 2. Сухе гасіння 3. Позапічна обробка різними складами

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]

Аналізуючи дані таблиці 1.3 можна зробити висновок, що одними із способів підвищення якості коксу є брикетування та трамбування вугільної шихти. Багато підприємств обмежені певним марочним складом вугілля і вимушені складати шихту у рамках існуючої вугільної бази, яку мають.

У цих умовах в число первинних завдань, які можуть забезпечити підвищення якості коксу, виходять технології збільшення насипної маси вугільної шихти перед подачею її в коксові камери. Збільшення насипної маси вугільної шихти, тобто збільшення щільності упаковки вугільних часток в коксовій камері, призводить до щільнішого контакту між окремими зернами, що полегшує процес спікання цих зерен при коксуванні внаслідок чого відбувається зменшення пористості коксу, збільшення його механічної міцності і зниження стиранності.

### **1.3 Аналіз технологічних схем підготовки вугільної шихти методом брикетування**

#### **1.3.1 Способи ущільнення вугільної шихти методом брикетування**

Розроблено два способи ущільнення вугільної шихти методом брикетування [14]:

- брикетування без зв'язуючого при високому тиску більш 80 Мпа;
- брикетування зі зв'язуючим при тиску від 15 до 25 Мпа.

Сутність процесу брикетування, без зв'язуючого, полягає в подрібненні, підсушуванні вугілля до необхідних норм і накладенні тиску на окремі його порції в пресувальній машині [14].

Без зв'язуючого брикетують торф і молоде (м'яке) буре вугілля.

Процес брикетування зі зв'язуючим складається з декількох стадій. Головним є адсорбція зв'язувальної речовини брикетуємими матеріалами утворення на поверхні часточок вугілля тонкої плівки. Міцність брикету залежить від сил зчеплення плівки зв'язуючого з поверхнею матеріалу (сила

адгезії) і міцності плівки, що утворюється (сили когезії) [14]. Для утворення брикету необхідно зусилля, що забезпечує контактування по оболонках зв'язуючого. Міцність брикету буде максимальною, коли зовнішній тиск забезпечить зближення часточок на відстань, при якій прошарки зв'язуючого в місцях контактів твердої фази стають рівними товщині адсорбційного напівшару [14].

Добавка брикетів у шихту в кількості 30 % підвищує насипну щільність приблизно на 8,5 %, тобто від 750 до 820 кг/м<sup>3</sup> [14]

Часткове брикетування шихти зі зв'язуючим можна здійснювати у двох варіантах:

-брикетування частини шихти [14];

-брикетування слабоспівливих компонентів шихти [14].

При цьому обидва варіанта вимагають окремого подрібнення компонентів шихти. Одним з основних факторів, що визначають брикетуємість, є загальна питома поверхня брикетуємих зерен, що повинна бути оптимальною для вугілля відповідної стадії метаморфізму. Окреме подрібнення компонентів сприяє також підвищенню якості коксу [14].

### **1.3.2 Зв'язуюче для виробництва брикетів**

Ефективне економічне зв'язуюче для брикетування повинно володіти як в'язкими, так і співливими властивостями й забезпечувати: технологічність при брикетуванні, тобто високий вихід і якість брикетів, надійну роботу брикетних агрегатів і допоміжного устаткування [16]; ефективність при коксуванні, тобто одержання досить міцного коксу при підвищеній участі в шихті слабоспівливого вугілля [16]; відсутність побічних негативних ефектів (наприклад, зниження якості хімічних продуктів коксування) [16].

Спеціального сполучного для брикетування не існує, тому застосовують різні його види. До сполучного для брикетування вугілля пред'являються наступні вимоги: висока в'язка здатність, що надає міцність брикетам навіть при

невеликій витраті сполучного; висока спіклива здатність; неканцерогенність; недефіцитність; невисока вартість.

Найпоширенішим сполучним для вугільних брикетів кам'яновугільного походження є пек - твердий залишок, одержуваний на КХВ при розгоні кам'яновугільної смоли. Кам'яновугільний пек - речовина чорного кольору, щільність 1250-1300 кг/м<sup>3</sup>[16]. Пік має сполучні й спікливі властивості, високу теплоту згоряння (33,5 Мдж/кг), низьку зольність (0,2-0,61 %). Надає брикетам високу механічну міцність і термостійкість при його згорянні [16].

Кам'яновугільний пек випускається двох марок: середньотемпературний; з температурою розм'якшення 65-83 °С та високотемпературний пек з температурою розм'якшення 135-150 °С [16]. Для брикетування вугілля застосовується середньотемпературний пек, присадка якого до вугілля може здійснюватися в рідкому та твердому подрібненому вигляді. Однак кам'яновугільний пек канцерогенний і дефіцитний матеріал. Тому в більшості випадків застосовують сполучне нафтового походження, яке задовольняє важливим вимогам, як недефіцитність і неканцерогенність. Для виробництва сполучних можуть служити різні високов'язкі або тверді залишки переробки нафти, кількості й властивості яких залежать, головним чином, від особливості технологічних процесів на окремих підприємствах і в меншій мірі - від властивостей вихідних нафт, оскільки в більшості випадків переробляються їхні суміші [16].

Дослідження із застосування в якості сполучного кам'яновугільного й сланцевих фусів, шламу гідрогенізації бурого вугілля, а також різних полімерних продуктів показали, що найбільш раціонально використання сполучного з температурою розм'якшення по КиШ 30-50 °С: спрощується апаратне оформлення процесу (не потрібне додаткове охолодження шихти перед пресуванням і брикетів після преса), знижуються енерговитрати [16].

Перспективними сполучними можна вважати сполучні матеріали нафтохімічного й коксохімічного виробництва: стабілізований окислюванням

деасфальтизації гідрону (Брикетин-1), асфальтоекстрактна суміш (Брикетин-3), бітум нафтовий БН 50/50 і коксохімічна смола [16].

На КХВ рекомендовано використання сполучного типу «Брикетин-1», одержуваного з недефіцитних залишків нафтопереробки, ресурси яких достатні для забезпечення всіх промислових установок часткового брикетування шихти на перспективу [16].

Доцільність використання у виробництві коксу із частково брикетованої шихти брикетів, одержаних із слабоспівливої її частини, потребує вивчення впливу показників якості зв'язуючих на процес брикетування вугілля мало- та високометаморфізованих стадій Г та ПС [16].

В технології брикетування зв'язуюче не тільки сприяє утворенню вугільних брикетів завдяки комплексу фізичних явищ, але і збільшує спікаючу здатність шихти. При цьому зв'язуюче повинно бути малотоксичним і не повинно погіршувати якість хімічних продуктів коксування.

### **1.3.3 Вплив добавки брикетів на насипну щільність вугільної шихти**

Також при добавці у шихту брикетів можна досягти збільшення насипної маси вугільної шихти [16]. Підвищення однорідності коксу спостерігається при зростанні співвідношення вугілля, з якого отримано брикети [16]. Цього ефекту можна домогтися шляхом добавки до брикетуємого вугілля зв'язуючого в такій кількості, щоб властивості пластичної маси шихти й брикетуємого слабоспівливого вугілля були ідентичними. Одним зі способів підготовки до коксування шихт із великим (до 55-65 %) вмістом слабоспівливого вугілля є його часткове брикетування зі зв'язуючою речовиною або всієї шихти без неї [15]. Технологія процесу полягає в брикетуванні частини шихти зі зв'язуючим, змішуванні брикетів з небрикетованою частиною шихти й коксуванні отриманої суміші. Позитивний технологічний ефект забезпечує підвищення насипної щільності коксуємого

завантаження (за рахунок додавання в шихту брикетів), а також деяке підвищення спікливості шихти (за рахунок зв'язуючого, що входить до складу брикетів). Насипна щільність шихти, що містить 25-35 % брикетів, помітно збільшується. При долі цілих брикетів у шихті, рівній 30 %, приріст насипної щільності шихти складає 8 %, а збільшення продуктивності печей, залежно від можливості коректування теплотехнічного режиму, 4-5 % [16].

Введення до шихти замащеної прокатної окалини в кількості  $\leq 0,5$  % також сприяє покращенню якісних показників міцності косу при незначному збільшенні зольності за рахунок потрапляння в кокс відновленого заліза. Замащена дрібнодисперсна прокатна окалина є відходом прокатного виробництва. Додаток замащеної прокатної окалини збільшує насипну масу вугільної шихти за рахунок більшої насипної щільності окалини та за рахунок добавки масла. Масло є органічною домішкою, що підвищує насипну щільність завантаження внаслідок поверхневого натягу плівкової вологи, що у свою чергу збільшує рухливість вугільних зерен відносно один одного.

На КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» розроблений метод комплексної переробки замащеної прокатної окалини [17], оснований на температурній її обробці без доступу кисню при протіканні наступних процесів: випарювання води та видалення масел у паровому стані або у вигляді туману; низькотемпературного (до  $380^{\circ}\text{C}$ ) та частково каталітичного крекінгу на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а також відновлення оксидів заліза вуглеводнями.

Заслуговує уваги і використання відходів прокатного виробництва в якості домішок до вугільної, частково брикетованої, шихти для коксування. При цьому розроблена технологія перевезення замащеної окалини методом «прошарованого пирога» у вагонах.

Обробка вологих вугільних шихт органічними рідинами (відходами коксохімічного виробництва, продуктами переробки нафти, кам'яновугільної смоли й ін.), навіть при незначному вмісті їх у шихті (0,1-0,5 %), дозволяє підвищити насипну щільність вугільного завантаження при вільній її засипці в піч на 6-10 % і поліпшити якість коксу. Так, в умовах КХВ ПАТ

«АрселорМіттал Кривий Ріг» ефективно працює установка по обмаслюванню відпрацьованими моторними маслами вугільних концентратів. Кокс за участю вугільної шихти що містить органічну домішку, характеризується меншою стиранністю й більшою міцною, щільною й твердою структурою.

Таким чином, методи підготовки вугілля для коксування, із застосуванням органічних домішок, дозволяють істотно підвищити вихід шихти та знизити її вологість без термічної підготовки, поліпшити якість коксу, а також збільшити вихід хімічних продуктів коксування.

#### **1.4 Висновки до аналітичної частини**

Проведено порівняльну характеристику новітніх технологій підготовки вугільних шихт для коксування. Визначено скорочення участі в шихтах найбільш дефіцитного і дорогого спікливого вугілля марок Ж, К, ПС: нові технології дозволяють знизити витрату в найбільшій кількості при виробництві коксу до 15 %. Тому розробка технологій трамбування та часткового брикетування вугільної шихти є актуальним завданням, від рішення якого залежить і якість коксу.

Дослідження більш ефективного зв'язуючого для брикетування вугільної шихти, розробки технологічних параметрів підготовки та коксування ЧБШ і поліпшення техніко-економічних та екологічних показників виробництва коксу за рахунок використання у складі шихти побічних продуктів та відходів коксохімічного та металургійного виробництва. Проаналізувавши результати досліджень, обзір патентів та досвід багатьох коксохімічних виробництв можна зробити висновок, що в умовах погіршення сировинної бази коксування, підвищити якість металургійного коксу можна за рахунок впровадження раціональних технологій підготовки шихти до коксування. До одного з перспективних напрямків покращення якості коксу доцільно віднести часткове брикетування вугільної шихти.

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Дослідження процесу часткового брикетування вугільної шихти

#### 2.1.1 Обґрунтування напрямків та вибір методики досліджень

Основні напрямки випускної роботи пов'язані з дослідженням впливу запропонованої технології часткового брикетування на якісні показники коксу, а саме:

- розробка та впровадження нового зв'язуючого, що виробляється в Україні з відходів виробництва нафтопереробних заводів;
- розробка марочного складу брикетованої і вміщуючої частин шихти, їх спікливість і співвідношення в загальній шихті;
- визначення оптимальну кількість зв'язуючого для брикетування;
- науково обґрунтовати параметри цього процесу.
- ефективність використання у доменному процесі коксу із ЧБШ найбільш повно можна визначити шляхом дослідження літературних та патентних джерел по проведенню дослідних доменних плавок.

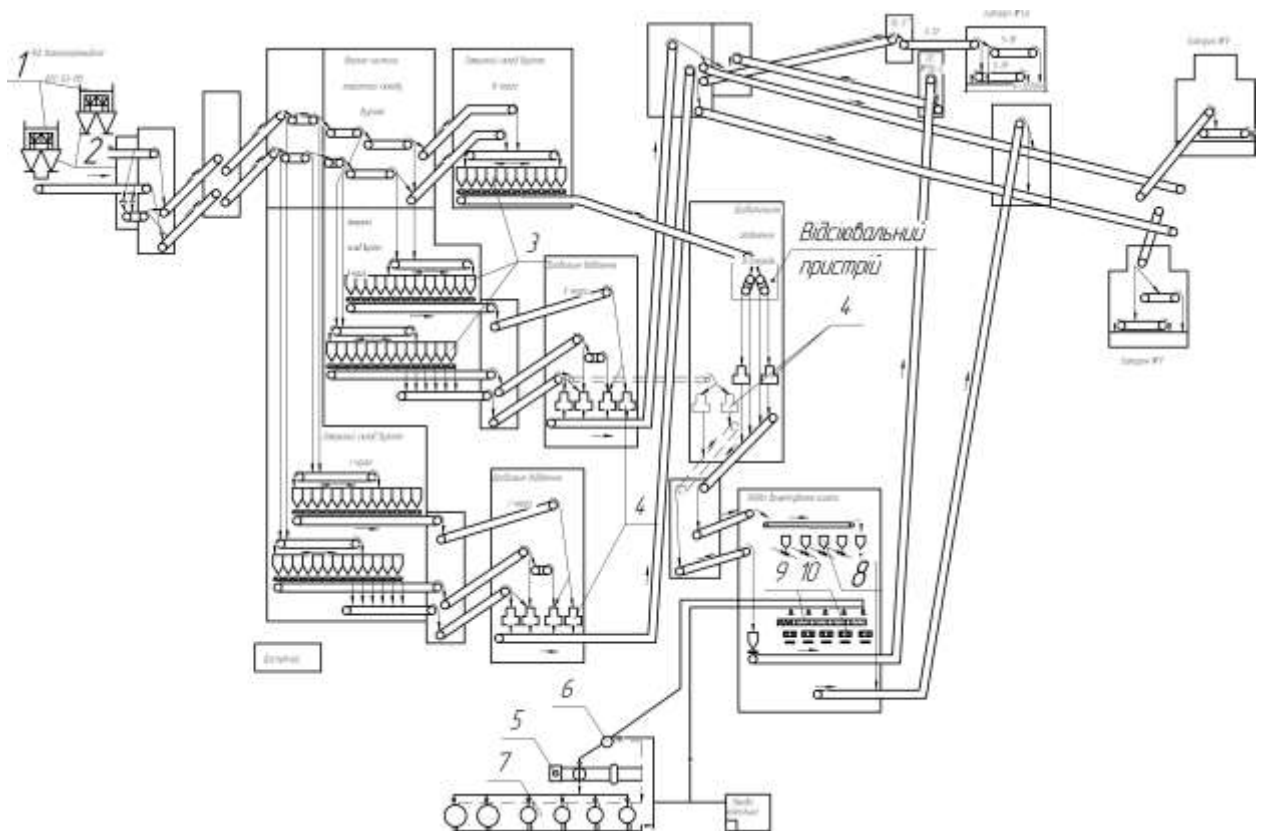
Важливість проблеми охорони довкілля потребує розробки способів утилізації в процесі брикетування відходів та супутніх продуктів коксохімічного та металургійного виробництв, а саме: коксового дрібняку, смоляних відходів хімічних цехів та дрібнодисперсної замащеної прокатної окалини.

При проведенні цих досліджень якість вугільних концентратів, шихти, лабораторного та промислового коксів, якість і витрати зв'язуючого, вимір температур визначали за допомогою стандартних методик. Якість вугільних брикетів визначали шляхом чотирикратного скидання їх на сталеву плиту з висоти 1,5 м і визначення після цього вмісту класу >25 мм і <15 мм, а також стисненням їх між двома сталевими плитами у пресі із зусиллям 2 кН. Удавану щільність брикетів визначали за кількістю витисненої ними води.

Використані на всіх стадіях досліджень обладнання та методики дозволяють у широких межах варіювати технологічні параметри процесу та різнобічно характеризувати одержані продукти з достатнім рівнем достовірності експериментальних даних.

### 2.1.2 Варіанти технологічної схеми брикетування шихти

Брикетування вугільної шихти відбувається в вуглепідготовчому цеху у відділенні брикетування шихти (рис.2.1).



**Рис. 2.1. Технологічна схема вуглепідготовчого цеху**

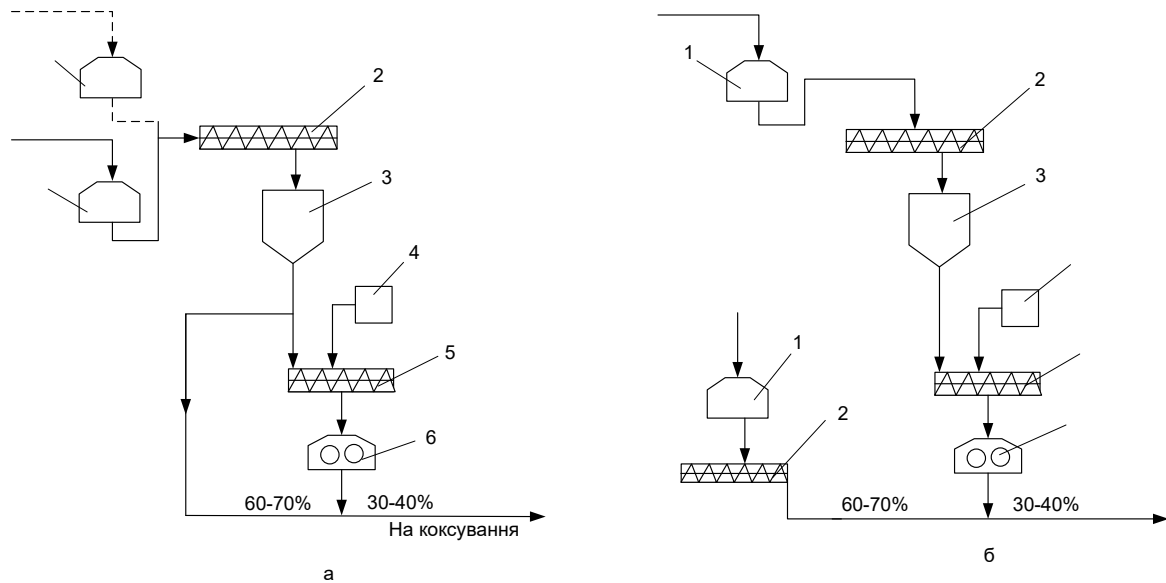
Примітка. Джерело: розроблено з використанням [22]

Основні операції процесу часткового брикетування шихти [14]:

- попередня підготовка брикетованої частини шихти (дозування, остаточне подрібнення, подача на брикетні преси);
- подача зв'язуючого на брикетну установку;
- змішання брикетованої частини шихти зі зв'язуючим;

- брикетування суміші в брикетному пресі;
- видача готових брикетів з під пресу;
- змішування вугільних брикетів з небрикетованою частиною.

Передбачено два варіанти технологічної схеми брикетування шихти (рис. 2.2).



а) брикетування до частини (30 %) всієї шихти; б) брикетування частини шихти (30 %), що складається зі слабоспівливого вугілля ( 1 - дробарка; 2 - гвинтовий конвеєр; 3 - бункер; 4 - ємність для зв'язуючого; 5 - змішувач; 6 - прес

**Рис.2.2.Способи часткового брикетування шихти**

1. Брикетування до частини (30 %) всієї шихти.

Брикетована частина шихти складається в новій частині закритого складу вугілля, а небрикетована в семи силосах старої частини закритого складу (при цьому, склад шихти в обох групах силосів абсолютно однаковий) [14]. Брикетована частина шихти (30 %) подрібнюється до 82 % класу менш 3 мм, небрикетована шихта (70 %) подрібнюється до 75 % класу менш 3 мм [14]. Розвантаження вугілля здійснюється двома вагоноперекидачами, продуктивністю до 1200 т/година кожний [14]. З вагоноперекидачів вугілля подається на верх закритого складу, де пересувним реверсивним конвеєром розподіляються по бункерах (див.рис.2.1).

При роботі коксових батарей на частково брикетованій шихті в вуглепідготовчому цеху виникає необхідність складання трьох, що відрізняються по марочному складу й ступеню подрібнення, шихт [14]:

- слабоспівлива частина шихти, що йде на брикетування піддається тонкому подрібненню;
- небрикетована частина шихти (піддається грубому подрібненню).
- шихта поліпшеного марочного складу для батарей, що працюють не на частково брикетованій шихті.

Силоси закріплені за певною маркою вугілля, що йде на складання шихти. Здозована шихта для брикетування надходить на стрічковий конвеєр і подається на відділення подрібнення, де подрібнюється до заданої крупності. Схема подрібнення брикетованої частини шихти - ДШ (подрібнення всієї маси шихти до  $82 \pm 1,5$  % вмісту класу менш 3 мм) [14]. Для складання небрикетованої частини шихти виділені силоси закритого складу вугілля [14].

Здозована шихта направляється в нове відділення остаточного подрібнення, де дробиться до  $75 \pm 1,5$  % вмісту класу менш 3 мм. (перед дробарками в жолобах устанавлюються решітки для відсівання класів менш 6 мм).

Відділення брикетування вугільної шихти призначено для одержання брикетів певної форми і якості з вугільної шихти з використанням зв'язувальних речовин і наступного змішування брикетів з небрикетованою частиною шихти.

Брикетована частина шихти після подрібнення у відділенні остаточного подрібнення конвеєрами подається в бункера, звідки за допомогою конвеєрних ваг у необхідній кількості подається в змішувач і потім, на брикетні преси.

Небрикетована частина шихти (70 %), після подрібнення у відділенні остаточного подрібнення, конвеєрами подається на збірний конвеєр, де на неї лягають готові брикети. Далі частково брикетована шихта надходить на вугільну башту [14].

2. Брикетування частини шихти (30 %), що складається зі слабоспівливого вугілля.

Брикетова частина шихти складена зі слабоспівливих компонентів після подрібнення у відділенні остаточного подрібнення конвеєрами подається у відділення брикетування й розподіляється у бункери перед пресами. З бункерів, за допомогою вагового пристрою й стрічкових живильників шихта в необхідній кількості подається в змішувач. Туди ж через форсунки насосами подається зв'язуюче. Розпилення зв'язуючого здійснюється через форсунки за рахунок подачі в них гострої пари.

У змішувачі відбувається нагрівання й перемішування шихти зі сполучним. Зі змішувача вугільна шихта надходить у брикетний прес, де піддається брикетуванню. Вихідні із преса готові брикети подаються на конвеєр на шар небрикетованої частини шихти, що після подрібнення у відділенні остаточного подрібнення, конвеєрами подається на хвостову частину збірного конвеєра. Технологічні параметри процесу брикетування наведені в таблиці 2.1 [14].

Розглядаючи два варіанти брикетування шихти вибираємо для дослідження технологію брикетування слабоспівливої частини шихти. При цьому як видно з дані таблиці 2.2 [14] при брикетуванні слабоспівливої частини шихти поліпшуються показники механічної міцності коксу.

Таблиця 2.1

**Технічні параметри процесу брикетування**

Найменування	Показник
Вологість шихти, %	8±3
Зольність шихти, %	8±1
Помол брикетованої частини шихти (вміст класу крупності менш 3 мм),%	82±1,5
Помол небрикетованої частини шихти (вміст класу крупності менш 3 мм),%	75±1,5
Зв'язуюче	Брикетін-1
Частка зв'язуючого в брикетах, %	Не більш 7
Частка брикетів у шихті, %	30
Безперервний робочий час установки в добу, годину	Не більш 17,5
Форма брикету «подушка» з розмірами, мм	45x45x31
Щільність брикетів, т/см <sup>3</sup>	Не менш 1,2
Вміст дріб'язку (класу менш 25 мм) після преса, %	15
Витрата пари на 1 тону брикетів, кг	Не менш 70
Тиск пари, кг/м <sup>3</sup>	10
Температура пари, °С	220-250
Мінімальна температура вихідної шихти, °С	+5
Температура повітря в приміщенні, °С	+ 5-5-+30
Температура розм'якшення зв'язуючого (КШ), °С	38-53
Температура шихти на виході зі змішувача-підігрів., °С	58-73
Насипна щільність частково брикетованої шихти в камері коксування, т/м <sup>3</sup> у сухій вазі	0,78
Вертикальна усадка частково брикетованої шихти в камері коксування, мм	250

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Таблиця 2.2

**Показники механічної міцності коксу**

Варіанти технологій	Показники механічної міцності	
	Брикетування до частини (30 %) всієї шихти.	86,2
Брикетування частини шихти (30 %), що складається зі слабоспівного вугілля	86,8	6,3

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

**2.1.3 Забезпечення установки брикетування зв'язуючим матеріалом**

У якості основного зв'язуючого застосовуються стабілізовані окислюванням деасфальтизації гудрону (Брикетин-1)[14]. У якості резервного зв'язуючого- асфальтоекстрактна суміш процесу "Дуосол" (Брикетин-3).

Зв'язуюче «Брикетин-1» має високі в'язкі властивості, забезпечує задовільну якість коксу із частково брикетованих піснуватих шихт, дешевий, має знижену канцерогенність. Фізико-хімічні властивості сполучного «Брикетин-1» наведені в таблиці 2.3 [14].

Після пуску та освоєння головної промислової установки часткового брикетування шихти на КХВ «КДГМК» з використанням нафтового зв'язуючого БН 50/50 та Брикетин на Кременчуцькому нафтопереробному заводі було розроблено та виготовлене зв'язуюче КВАГУ-Б для усунення залежності виробництва зв'язуючих від постачань імпортової сировини.

На відміну від зв'язуючого Брикетин продукт КВАГУ-Б отримали компаундуванням асфалто-екстрактної суміші, яка утворюється при кислотному очищенні масел від смол та асфальтенів, з нафтовим гудроном - залишковим продуктом перегонки нафти і кислим гудроном, що утворюється при кислотному очищенні парафінів. Для проведення дослідів по виявленню впливу показників властивостей зв'язуючих на процес брикетування, авторами

[16] отримані три дослідно-промислові партії нового зв'язуючого КВАГУ-Б. характеристики яких у порівнянні з показниками зв'язуючого Брикетин-1 наведені в табл.2.4.

Таблиця 2.3

**Фізико-хімічні властивості зв'язуючого «Брикетин-1»**

Показник	Значення
Температура розм'якшення, °С (по КиШ)	38-53
переважно	38-44
Щільність при 20 °С, т/м <sup>3</sup>	1,00-1,03
Технічний аналіз:	
Коксівність по Кондрадсеку не нижче	15
Зольність	0,05-0,20
Вихід летких	86-88
Вміст сірки	2,4-2,8
Вміст води	-
Температура спалаху, °С, не вище	220
Температура самозаймання, °С, не вище	280
Питома теплоємність, Дж/кг, при 20 °С	1200
при 50 °С	2240
при 100 °С	2250
при 150 °С	2340
при 200 °С	2640
Теплопровідність в інтервалі 20-200 °С, Вт/м	0,12-0,14
Фракційний склад, °С	450
5 % википає, °С до	490
10 % википає °С до	500

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

Таблиця 2.4

## Характеристика дослідних зв'язуючих

Показники та одиниці виміру		Найменування зв'язуючого			
		Брикетин -1	КВАГУ- 1	КВАГУ- 2	КВАГУ- 3
Щільність, кг/м <sup>3</sup>		1010	925	980	990
Температура розм'якшення, °С		42	42	45	52
Динамічна в'язкість, Па·с при 100 °С		2,8	1,3	3,1	9,0
Вихід летких речовин, %		87,5	89,4	88,6	88,5
Глибина проникнення голки при температурі 25 °С, мм <sup>1</sup>		60	80	85	52
Елементний склад, %	С	85,60	85,61	85,32	85,37
	Н	10,32	9,31	9,42	9,36
	N	0,65	0,54	0,55	0,54
	О	0,72	2,33	2,36	2,31
	S	2,71	2,21	2,35	2,42
Груповий склад	Парафіни	5,5	1,8	2,0	2,0
	Арени	56,1	42,2	41,9	42,1
	Смоли	29,9	40,8	41,0	40,7
	Асфальтени	8,8	15,2	15,1	15,2

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

З наведених даних видно, що за основними характеристиками зв'язуюче КВАГУ близьке до Брикетину-1 і відрізняється від нього меншим вмістом азоту та більшим вмістом смоляних речовин.

Для виявлення механізму брикетування вугілля з різною поверхнею для дослідження були обрані концентрати малометаморфізованого та високометаморфізованого вугілля з наступними властивостями (табл.2.5). Міцність вироблених брикетів залежатиме від адгезійних властивостей зв'язуючого. Відомо, що адгезійні властивості важких нафтопродуктів значною мірою визначаються вмістом азотних речовин. Тому Брикетин-1 дає найміцніші брикети - вміст азоту у нього більш ніж на третину перевищує аналогічний показник для зв'язуючого КВАГУ (табл.2.4).

Збільшення питомої поверхні згідно із об'єднаним законом діючих мас та поверхонь має інтенсифікувати поверхневу взаємодію. Для вугілля питома поверхня залежить від природи палива та ступеня його подрібнення.

Газове вугілля має приблизно вдесятеро більш розвинену поверхню у порівнянні з піснувато-спікливим (табл.2.5) [16].

Таблиця 2.5

### Характеристика вугільних концентратів

Марка	ЦЗФ	$V^{daf}$ , %	$y$ , мм	$A^d$ , %	$S_t^d$ , %	Питома поверхня, м <sup>2</sup> /г
Г	Білоріченська	40,0	9	6,8	1,8	201
ПС	Колосніковська	17,2	6	8,5	1,1	18,9

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

Таким чином, теоретичні та експериментальні дослідження показали, що взаємодія зв'язуючого з вугільними зернами визначається поверхневими процесами, що відбуваються на границях розподілу фаз. Головними чинниками для високої міцності брикетів є величина питомої поверхні зернин вугілля та в'язкість зв'язуючого. На промисловій установці часкового брикетування ПАТ «АМКР» була випробувана партія зв'язуючого КВАГУ - Б. Як показали випробування, його використання дає практично ті ж результати, що і при використанні зв'язуючого Брикетин-1 (табл.2.6) [16].

Таблиця 2.6

### Міцність на стискання (МПа) брикетів, виготовлених з різними типами зв'язуючого

Склад брикетованої частини шихти	Тип зв'язуючого				
	Брикетин-1	КВАГУ-1	КВАГУ-2	КВАГУ-3	КВАГУ-6
Г+ПС	9,12	8,56	8,28	6,86	7,82
Г	9,41	8,74	8,49	6,28	7,75
ПС	8,83	7,63	7,78	7,83	7,90
Г*+ПС	9,09	8,45	8,16	7,03	7,44
Г+ПС*	8,97	8,23	8,03	7,9	8,16

Г\* - додавання зв'язуючого до концентрату Г у відповідності з рецептурою;  
ПС\* - теж до вугілля ПС.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [16]

### 2.1.4 Технологічна схема прийому й зберігання зв'язуючого

Для перевезення сполучного застосовуються цистерни з нижнім зливом, цистерни з паровою сорочкою, електрообігрювальні цистерни з нижнім зливом. Разливочний пристрій призначено для прискореного зливу сполучного при виході з ладу системи обігріву цистерн [14]. Цистерна складається з котла з підігрівальним кожухом, зливального пристрою, запобіжного впускного клапана. Основні параметри цистерни наведені в таблиці 2.7 [14].

Відділення призначено для прийому та подачі зв'язуючого на брикетну установку. Основними виробничими операціями у відділенні є:

- прийом і розвантаження зв'язуючого із залізничних цистерн;
- зберігання зв'язуючого;
- нагрівання зв'язуючого
- перекачування й циркуляція зв'язуючого [14].

Таблиця 2.7

#### Основні параметри цистерни

№ п/п	Найменування параметра	Значення
1	Вантажопідйомність, т	67
2	Зовнішня довжина котла, м	10,790
3	Внутрішній діаметр котла, м	3
4	Об'єм котла, м <sup>3</sup> повний, не менш	73,17
5	Корисний об'єм, не менш	70
6	Питомий об'єм котла: м <sup>3</sup> /т, не менш	1,07
7	Довжина цистерни по відщиплення, м	12,020

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Відділення складається із двох ділянок: прийому й розвантаження; зберігання зв'язуючого. До складу ділянки прийому та розвантаження входять: розвантажувальна площадка; резервуари для прийому сполучного;

теплообмінники; насоси. До складу ділянки зберігання й підготовки входять: сховища сполучного; проміжні баки й видаткові ємності; теплообмінники; насосні [14]. Розвантажувальна площадка обладнана під'їзними залізничними коліями, установками нижнього зливу, пропарочно-размивочними пристроями, паропроводом і електрощитами для розігріву цистерн із паровим і електрообігріванням, теплообмінником для конденсування пари, що утворюється при пропарюванні цистерн. Одночасно під розвантаженням можуть перебувати 6 цистерн.

Всі ємності, для зв'язуючого, виконані металевими, мають теплоізоляційне покриття, обігрівуються через змішувачі парою.

Парагазова суміш, із повітриників усіх ємностей, відсмоктується вентилятором. Пари, що відсмоктуються, у горизонтальному трубчастому апарату, розташованому на відкритій площадці поруч із проміжними баками, зрошуються технічною водою й скидаються у повітряник. Забруднена вода насосом подається у фенольну каналізацію.

Насосна ділянки прийому й підготовки зв'язуючого обладнана бітумними насосами, що забезпечують циркуляцію зв'язуючого й перекачування його із прийомних резервуарів у сховища. Насосні ділянки зберігання й підготовки забезпечують:

- циркуляцію зв'язуючого в сховищах і проміжних баках; перекачування зв'язуючого зі сховищ у проміжні баки й далі - у видаткові ємності.

- подачу зв'язуючого з видаткових ємностей у змішувачі брикетної установки й циркуляцію зв'язуючого у видаткових ємностях. Всі трубопроводи зв'язуючого й насоси для перекачування, циркуляції зв'язуючого обладнані паровим обігрівом.

Об'єм кожного із двох сховищ 2 тис.м<sup>3</sup>, що становить більш ніж 10-добовий запас зв'язуючого. Нагрівання зв'язуючого в сховищі здійснюється паром. Істотним недоліком парового обігріву є небезпека зкіпання й викиду крупної маси «Брикетина-1» у випадку влучення конденсату в зв'язуючого при порушенні парових обігрівачів, цьому варто висунути підвищені вимоги

до якості зварювання парових ліній. У випадку скипання зв'язуючого необхідно використовувати піногасник. Температура зберігання «Брикетин-1» 90-150 °С (переважно 90-110 °С). У випадку зберігання зв'язуючого при температурі 100 і 150 °С більше 25 і 20 діб (відповідно), починається поступове збільшення температури розм'якшення й в'язкості зв'язуючого. Не допускається контакт при 160°С «Брикетина-1» з повітрям [14]. Необхідно уникати контакту з повітрям через; інтенсивне окислення «Брикетина-1» при температурі 150 °С [14]. Зі сховищ зв'язуче подається в проміжні баки, де нагрівається до температури 140-170 °С шляхом циркуляції через теплообмінники. Розігріте зв'язуче із проміжних баків подають у ємності, потім - на брикетні преси.

Для прискорення підігріву зв'язуючого і його зливу із цистерн починають циркуляцію зв'язуючого через теплообмінник за схемою: цистерна-приймний резервуар-насос-теплообмінник-цистерна, або за схемою: цистерна-насос-теплообмінник-цистерна. У зимовий час можуть виникнути утруднення при відкриванні клапана зливального приладу цистерни, що подовжує час розвантаження й приводить до непотрібного перегріву сполучної стінки, що нагрівається поблизу, казана цистерни. У цьому випадку необхідно використовувати переносний підігрівник: прогріти їм у товщі сполучний канал для зливального приладу цистерн і відкрити клапан. Перед розвантаженням цистерни резервуар для прийому сполучного повинен бути звільнений від залишків сполучного.

Для запобігання відкладення фусів, забезпечується постійна циркуляція зв'язуючого і в сховище за допомогою насоса. Зі сховища зв'язуче насосом періодично накачується у витратну ємність; що вміщає 30 т [13]. Насос включається автоматично при зменшенні кількості сполучного у витратної ємності до нижнього рівня, вимикається при досягненні верхнього рівня. Щоб виключити переповнення видаткової ємності у випадку несправності верхнього рівня, передбачена автоматична зупинка насоса через 30 хвилин безперервної роботи. У витратної ємності здійснюється точне регулювання

температури зв'язуючого: витрату пари на зміювики видаткової ємності вибирають такою, щоб температура зв'язуючого становила 90-110 °С. Постоянство температури зв'язуючого забезпечує постоянство питомої ваги, і в'язкості що при об'ємному дозуванні стабілізує витрату й забезпечує рівномірність подачі сполучного [14].

Змішування зв'язуючого з вугільною шихтою в процентному відношенні є найважливішою вимогою при брикетуванні шихти. Важливу роль грає також підтримка постійної температури зв'язуючого. Від цього залежить:

- забезпечення заданої витрати зв'язуючого;
- стан його розпилення в змішувачі [14].

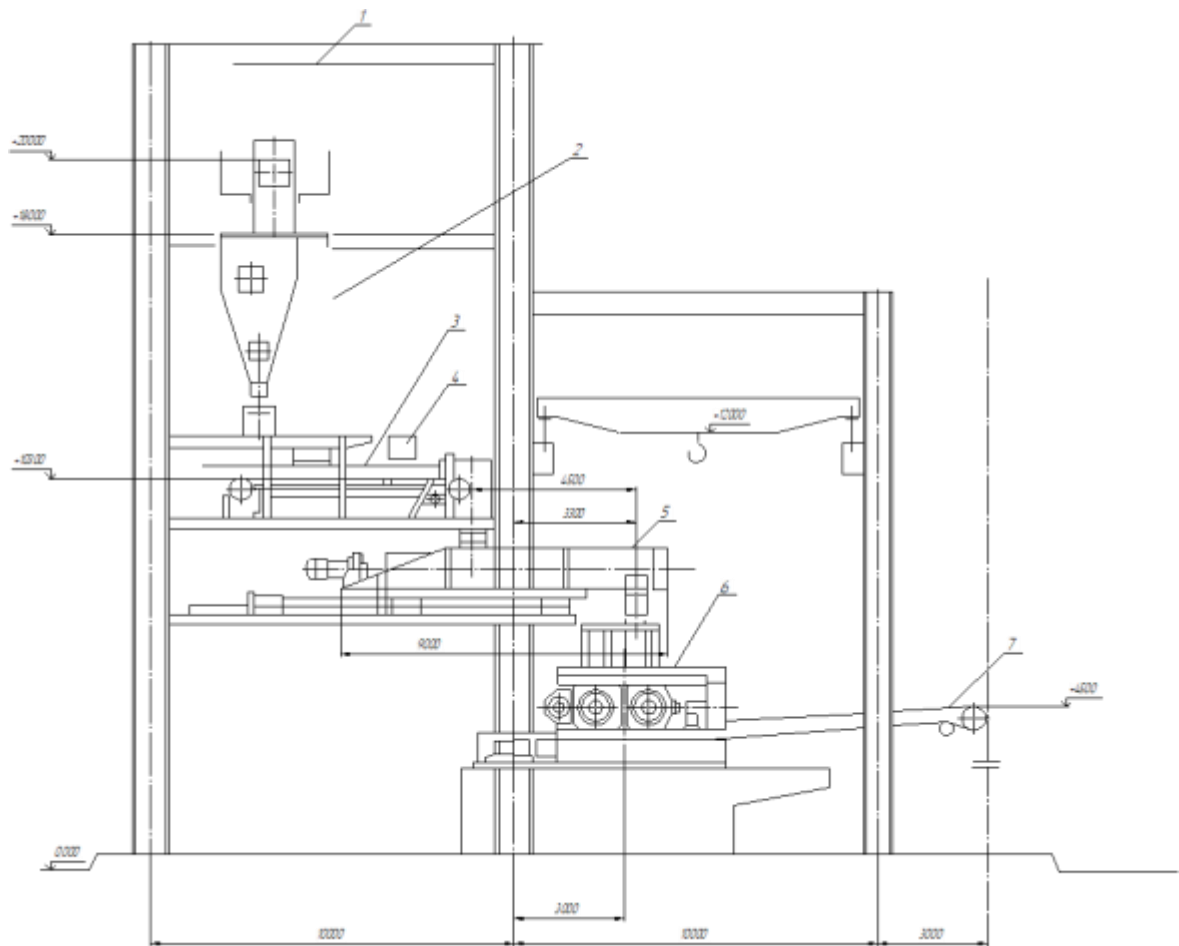
Спочатку сполучне зберігається в головному баку, потім по трубопроводу подається в 30-тонний бак. У баку зв'язуюче перебуває в стані циркуляції й перемішування, чим забезпечується сталість температури. Рівень зв'язуючого підтримується у встановленому діапазоні. Витрата шихти регулюється відповідно до витрати на вагах для регулювання витрати, установлюваного в диспетчерській, рівню шихти в бункері й після зважування шихта подається в змішувач.

У змішувачі здійснюється змішування шихти, добавка до неї зв'язуючого, розплавленим нагріванням (при температурі 150-170 °С), а також подача пари. У результаті цього процесу зв'язуюче розподіляється тонким шаром на зовнішні поверхні вугільних часток [14]. Витрата зв'язуючого регулюється з диспетчерської за допомогою регулятора так, щоб через ваги підтримувалося постійне відношення зв'язуючого до шихти. Коефіцієнт добавки зв'язуючого повинен бути  $\pm 0,1$  % від заданого значення у відношенні до витрати вугільної шихти [14].

Технологічна схема процесу часткового брикетування (рис.2.3) включає основні операції:

- попередня підготовка брикетованої частини шихти (дозування, остаточне подрібнення, подача на брикетні преси);
- подача зв'язуючого на брикетну установку;
- змішування брикетованої частини шихти зі сполучним;
- брикетування суміші в брикетному пресі;
  
- попередня підготовка брикетованої частини шихти (дозування, остаточне подрібнення, подача на брикетні преси);
- подача зв'язуючого на брикетну установку;
- змішування брикетованої частини шихти зі сполучним;
- брикетування суміші в брикетному пресі;
- видача готових брикетів з-під преса;
- змішування вугільних брикетів з небрикетованою частиною шихти.

Брикетні преси забезпечують стабільне одержання брикетів високої якості при окружній швидкості валків до 0,85-0,90 с [14]. Перевищення цієї швидкості збільшує вихід дрібних класів і знижує міцність на роздавлювання. Напрямні розподільні плити й канавки (пази) скидання надлишкового тиску підвищують щільність, і міцність брикетів знижують вихід дрібних класів при брикетуванні.



1, 7 - стрічковий конвеєр; 2 - розподільчий бункер; 3 - стрічковий живильник;  
4 - конвеєрні терези; 5 - змішувач; 6 - брикетний прес

**Рис.2.3. Розташування обладнання в приміщенні брикетування**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Розподільні плити перешкоджають перетіканням шихти по ширині валка, що забезпечують рівномірність захоплення шихти валками.

Після запуску брикетної установки стабільно висока якість брикетів по міцності й низький вихід відходів установлюється через 30-40 хв. [14]. Шихта, змішана й нагріта в змішувачі, подається в бункер преса й піддається формуванню на брикетному пресі [14]. Для одержання якісних брикетів важливо стабілізувати реактивну силу при формуванні на високому рівні. Вона повинна дорівнювати 182 т. Тиск по лінії повинне бути 1,5 т/см (по корисній довжині валка)[14]. Швидкість валків преса й наявність вологи в шихті, що перебуває над пресом, впливають на формування і якість брикетів. Окружна швидкість валків повинна підтримуватися на рівні 0,85-0,90 м/с.

Якісному формуванню брикетів сприяють канавки для бруса надлишкового тиску, а також напрямні плити. Температурний режим брикетування і якість брикетів наведені у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

## Температурний режим брикетування і якість брикетів

Температура	°С
Температура вугільної шихти на вході в змішувач	5-20
Температура зв'язуючого, яке йде в змішувач	140-170
Суміші, брикетуємої на пресі	60-80
Суміші брикетів із під преса	55-75
Міцність брикетів (через 24 години після одержання)	80-90
Міцність на стиск, кг/на брикет	85-90

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

## 2.2 Дослідження впливу часткового брикетування вугільної шихти на якість коксу

### 2.2.1 Аналіз впливу дослідної технології на показники вугільної шихти

За дослідною технологією брикетування тільки слабо спікливої частини вугілля спостерігається покращення показників вугільної шихти.

Отримані авторами [15] позитивні результати дозволили провести промислову перевірку способу часткового брикетування шихти зі зв'язуючим для оцінки можливості використання діючого коксового фонду й існуючого встаткування при коксуванні частково- брикетованих шихт і підтвердження ефективності технології. Через сировинну базу коксування, що погіршується, підготовка вугілля брикетуванням дозволяє використовувати при коксуванні дешеве слабоспикливе вугілля. Роботою пропонується для обраного марочного складу вугільної шихти, де переважно вугілля марок Т и ПС із добавкою вугілля марок Ж и Г, використовувати брикетування окремо слабоспикливої частини від всієї шихти зі сполучним [15].

Насипна щільність шихти, що містить 25-35 % брикетів, помітно збільшується. При долі цілих брикетів у шихті, рівної 30 %, приріст насипної щільності шихти складе 8 %, а збільшення продуктивності печей залежно від можливості коректування теплотехнічного режиму 4-5 %[7]. Реального економічного ефекту можна чекати при коксуванні частково брикетованої шихти зі вмістом >20 % брикетів [15]. Порівнюючи величини насипної щільності небрикетуємої і брикетуємої частин шихти, можна відзначити, що в брикетуємій частини насипна щільність значно вище за рахунок добавки сполучного [15]. Але особливого впливу на вихід і якість коксу це не має, тому що приріст завантаження викликає збільшення періоду коксування, що не дозволяє підвищити продуктивність коксових печей [15]. Разом з тим відзначається можливість одержання рівноцінного коксу з вугілля і шихт зі зниженою коксівністю. Відзначено також скорочення добового числа видач коксу, завдяки чому поліпшуються умови експлуатації коксових печей [15]. Використання, завдяки частковому брикетуванню, слабкоспікливого вугілля перекриваються додаткові витрати на брикетування [15].

Насипна щільність частково брикетованої шихти зростає через високу ( $\sim 1,2 \text{ г/см}^3$ ) щільності брикетів. Однак, насипна щільність небрикетованої частини шихти в проміжках між брикетами трохи знижується в порівнянні із шихтою без брикетів. Тому загальне збільшення щільності частково-брикетованої шихти завжди нижче розрахункової (по щільності брикетів) величини. Форма брикетів і їхня маса істотно не впливають на щільність частково-брикетованої шихти, але важливе значення має кількість брикетів у шихті. Подальше збільшення частки брикетів приводить до зниження щільності завантаження через появу між брикетами порожнеч, не заповнених іншою шихтою.

В роботі визначено, що брикетування суміші у кількості 30-35 % брикетів у шихті є оптимальним, щільність частково брикетованої шихти зростає на 8-12 % у порівнянні із шихтою без брикетів, тому що період коксування частково-брикетованої шихти збільшується на 4- 5 %, а вихід

коксу знижується на  $\sim 1\%$  за рахунок використання зв'язуючого з високим виходом летких речовин, загальне підвищення продуктивності коксових батарей 3-5% [7]. При брикетуванні в потік брикетів надходять відходи брикетування, кількість яких при нормальній роботі брикетних агрегатів  $\leq 15\%$  [16]. Показано, що збільшення в брикетах вмісту небрикетованого дріб'язку до 20% не робить впливу на щільність частково-брикетованої шихти і якість одержуваного коксу [16]. Це дозволяє спростити технологічну схему, виключивши відділення дріб'язку від брикетів і повернення його в шихту.

Таким чином, метод брикетування вугільної шихти перед коксуванням дозволяє використовувати для виробництва металургійного коксу необхідної якості слабоспікливого вугілля, що дозволить розширити сировинну базу коксування. Дослідження показали, що при збільшенні коефіцієнта брикетування вугільної шихти спостерігається ріст її насипної щільності, що, безумовно, впливає на показники міцності кінцевого продукту коксування - коксу. Ефективність методу брикетування обумовлена підвищенням щільності вугільного завантаження в пічних камерах, що, не міняючи природи органічної маси вугілля, істотно поліпшує фізико-хімічні умови протікання процесів спікання й коксоутворення. Відомо, що при достатнім зближенні зерен слабоспікливого вугілля із них при нагріванні можна одержати високоякісний формований металургійний кокс.

### **2.2.2 Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим на вихід і якість продуктів коксування**

При коксуванні частково-брикетованої шихти, авторами [17], оцінено вплив часткового брикетування шихти зі сполучним на вихід і якість продуктів коксування. Підвищення виходу летких речовин знизило вихід валового коксу на 0,3%. Збільшився вихід коксового газу й бензольних вуглеводнів, але найбільше значно зросла кількість сирої смоли. Склад коксового газу, якість смоли, бензольних вуглеводнів й іншої хімічної продукції не змінився [15].

Вихід металургійного коксу підвищився на 1,4 %, кількість коксу по показниках  $M_{10}$  і  $M_{25}$  покращилася відповідно на 1,0 та 0,6 % [17]. Доведено, що кокс із частково-брикетованої шихти краще протистоїть руйнуючому впливу у процесі транспортування, перевантаження, проходження через коксові бункери доменних печей [17]. Останні на коксі із частково-брикетованої шихти працювали рівно, зменшилося число випадків тугого ходу. Рівномірним по складу став чавун, понизилися вихід колошникового пилу й вміст вуглецю в колошниковому пилу й доменному шлаку [17]. Середньозважена продуктивність доменних печей зросла на 1,5 %, а питома витрата коксу знизилася на 14,8 кг/т [17]. Отже, по своїх фізичним і хімічним властивостях кокс із частково-брикетованої шихти відповідає вимогам доменного процесу. Технологія часткового брикетування вугільної шихти практично не вносить ускладнень і не вимагає істотної зміни діючої технології коксування. Таким чином, аналіз результатів досліджень та досвід впровадження методу брикетування свідчать, що ця технологія дозволяє не тільки поліпшити якісні властивості вугільної шихти - підвищення насипної щільності, але і покращити якість коксу:

1. Поліпшити спікливість і коксівність слабоспікливих шихт, що містять вугілля марок Г до 50-55 % і Т до 10 %, з одержанням з них доменного коксу [18];

2. Підвищити механічну міцність коксу  $M_{25}$  на 0,8-1 %,  $M_{10}$  на 0,8-1,2 % із шихт зі вмістом вугілля марки Г 35-37 %, Т - до 5 %; підвищити продуктивність батарей на 4 % [18];

3. Збільшити вихід металургійного коксу від валового на 1 % [18].

Підтверджують ефективність часткового брикетування і дослідження, що були проведені авторами [20] по визначенню впливу зв'язуючих на вихід та якість продуктів коксування. ЧБШ проводили на 5-кг лабораторній та 300-кг напівпромисловій печах, (табл.2.9). Показано, що вихід продуктів коксування майже не відрізняється при використанні зв'язуючих «Брикетин» і КВАГУ-Б. Але при добавці 7 %

Таблиця 2.9.

**Вихід продуктів коксування**

Кількість зв'язуючого у шихті, %	Вихід продуктів коксування, % (від сухої шихти)							
	Кокс	Смола	Бензольні вуглеводні	Коксовий газ	Сірководень	Пірогенетична волога	Аміак	Втрати
0	73,4	4,95	0,93	12,6	0,37	5,40	0,20	2,15
7,0 (Брикетин 1)	72,4	5,73	1,03	13,13	0,46	5,80	0,21	1,14
7,0 (КВАГУ-Б)	72,5	5,68	1,02	13,6	0,49	5,36	0,30	1,05

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

зв'язуючого вихід коксу зменшується на ~1 %, смоли збільшується на ~0,8 %, бензольних вуглеводнів - на 0,1 %, коксового газу - на ~1 %. В складі коксового газу вміст водню збільшується при використанні «Брикетину» - на 1 %, а КВАГУ-Б більш ніж на 4 %. На 0,2-0,3 % збільшується вміст ненасичених вуглеводнів, а метану дещо падає. У табл. 2.10 наведені результати коксування в 300-кг печі шихти складу, %: Г - 54,3, Ж - 15,7, К - 10, ПС - 10, П - 10. Брикети одержані шляхом добавки 7 % зв'язуючого, а їх вміст у вугільній шихті становив 35 %.

Таблиця 2.10.

**Характеристика якості дослідних коксів**

Шихта	Гранулометричний склад щодо класів крупності (мм), %					Міцність, %		Технічний аналіз, %			
	>80	80-60	60-40	40-25	<25	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	A <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	S <sup>d<sub>t</sub></sup>	
Небрикетована	26,8	21,5	31,5	11,0	9,2	83,4	12,2	10,2	0,65	1,68	
Брикетована із зв'язуючим	1	25,4	21,9	32,9	11,3	8,5	84,1	11,2	10,2	0,85	1,61
	2	26,0	22,8	32,0	11,2	7,4	84,7	10,7	10,2	0,80	1,63

Примітки: 1 - Брикетин; 2 - КВАГУ-Б.

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Приведені результати підтверджують, що часткове брикетування шихти поліпшує якість коксу, причому, дещо ефективніше при використанні зв'язуючого КВАГУ-Б. Як видно з таблиці при коксуванні частково брикетованої шихти запропонованого складу, механічна міцність коксу за показником  $M_{25}$  покращилася на 0,7 % зі зв'язуючим Брикетин-1 з 83,4 до 84,1 % та на 1,3 % зі зв'язуючим КВАГУ-Б з 83,4 до 84,7 %. Показник стираності  $M_{10}$  знизився на 1 % та 1,5 % відповідно.

Дослідницькі роботи, проведені в умовах КХВ «Криворіжсталь» [20], також показали значний позитивний вплив часткового брикетування шихти на якість коксу. Дані таблиці 2.11 чітко демонструють поліпшення показників механічної міцності коксу.

Таблиця 2.11

## Марочний склад вугільних шихт та показники якості коксу

Варіант шихти	Склад за марками					Частка брикетів в шихті, %	Якість коксу				Вихід коксу, %			
	Г	Ж	К	ПС	Т		Механічна міцність, %		Вихід класів, %		Відсухої шихти, %	Сухого валового, %		
							$M_{25}$	$M_{10}$	+80 мм	-25 мм		+25	25-10	10-0
1	37	30	10	18	5	-	87,0	7,6	6,7	3,6	76,4	91,7	5,2	3,1
2	37	30,3	9,8	13,9	9	27	88,4	6,4	3,4	3,5	76,9	93,1	3,9	3,0
3	55	17	10	6,0	12	25	87,5	6,5	3,6	3,7	76,6	91,7	4,8	3,5
4	51,3	22,0	7,9	9,4	9,4	26	87,4	6,4	3,8	3,8	-	-	-	-
5	41,3	29,6	9,9	15,9	3,3	9,4	89,5	6,7	12,4	2,4	-	-	-	-
6	40,0	33,0	11	16	-	-	89,3	7,0	13,2	2,6	-	-	-	-
Брикетована частина	17,0	17,0	-	33,0	33,0									
Частина, що вміщає	70,0	15,0	15	-	-									

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Як видно з таблиці, при коксуванні частково брикетованої шихти даного складу (беремо варіанти шихти з 1 по 3) механічна міцність коксу за показниками  $M_{25}$  збільшилась на 0,5 % з 87,0 до 87,5 %, а стираність зменшилась на 1,1 % з 7,6 до 6,5 %. Вихід класу + 80 мм також знизилася з 6,7 до 3,6 %, тобто на 3,1 %. На брикетній фабриці «Донецька»

Дніпропетровський КХЗ [21] виробляють брикети із шихти, яка містить кількість донецького вугілля марок К и Ж - 25,5 %, а частка таких брикетів у шихті для коксування становила 32 %. Незважаючи на це, коксування вугільної шихти дозволило поліпшити фізико-механічні властивості коксу (табл.2.12). У дослідний період кокс із частково брикетованої вугільної шихти надходив на всі доменні печі заводу. Чавун, як у дослідному, так і в порівняльному періодах, виплавлявся заданої якості: Si = 0,56-0,65 %; Mn = 0,52-0,57 %; S = 0,023-0,031 % відповідно до ТУ. Результати показали, що доменні печі на дослідному коксі працювали помітно рівніше. Зменшилася кількість випадків тугого ходу, практично були відсутні опади, продукти плавки спрацьовувалися нормально. Помітно знизилася кількість сміття, що виноситься з печі, і зменшився винос колошникового пилю, а також (майже в 2 рази) вміст у ній вуглецю.

Таблиця 2.12.

**Показники якості звичайного та дослідного коксів із частково брикетованої вугільної шихти**

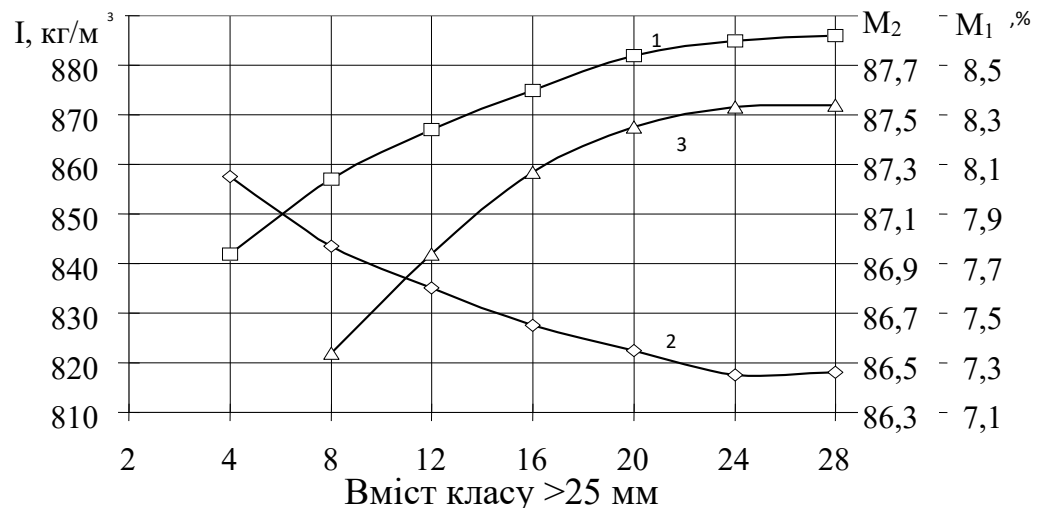
Найменування показників	Дослідний кокс із частково брикетованої вугільної шихти	Звичайний кокс
Гранулометричний склад (%) за класами крупності, мм:		
>80	7,7	8,0
80-60	27	29,2
60-40	45,2	44,7
40-25	16,9	15,1
25-0	3,2	3,0
Механічна міцність, %		
M <sub>25</sub>	86,7	86,1
M <sub>10</sub>	6,8	7,8
Технічний аналіз, %:		
W <sub>t</sub> <sup>r</sup>	3,7	3,4
A <sup>d</sup>	10,6	10,8
S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	1,0	0,9
V <sup>daf</sup>	1,50	1,50

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Аналіз техніко-економічних показників роботи доменних печей показав, що середньозважене підвищення продуктивності склало 1,54 %, а питома витрата коксу знизилася, у середньому, на 14,8 кг на тонну чавуну, що свідчило про високу техніко-економічну ефективність застосування

часткового брикетування вугільної шихти для поліпшення якості коксу [21].

Таким чином, при коксуванні частково брикетованої шихти відбувається покращення якості коксу за показниками механічної міцності й виходу класу + 80 мм. Отриманий кокс у меншому ступені буде перетерплювати руйнування від стиранних впливів: має більше низьку хімічну активність і реакційну здатність, що значно поліпшить роботу газового потоку доменних печей, приведе до збільшення їх продуктивності й знизить витрату коксу на 1 т чавуну. Відомо, що підвищення насипної щільності шихти позитивно впливає на якість коксу. Тому були проведені дослідження оптимального вмісту брикетів (класу >25 мм) у шихті, при якому цей важливий показник найбільший. Встановлено (рис.2.4), що він складає близько 26 % [20].



**Рис.2.4. Залежність насипної щільності шихти (1) і міцності коксу  $M_{10}$  (2) і  $M_{25}$  (3) від вмісту в шихті класу > 25 мм**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Використання методу кореляційного аналізу для обробки одержаних даних дозволило отримати такі залежності:

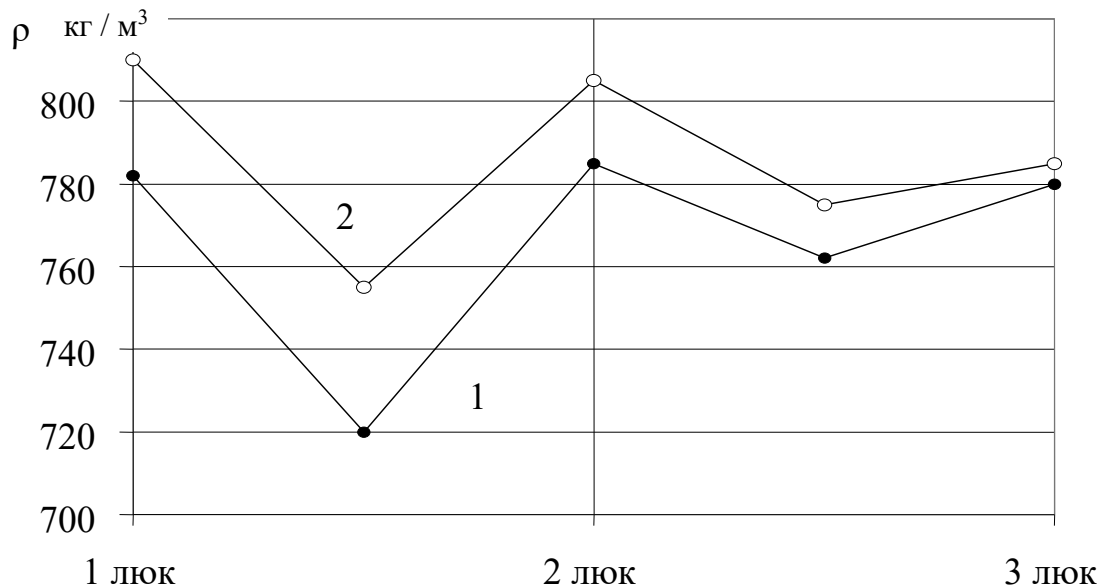
$$M_{25} = -0,003G_{>25}^2 + 0,154G_{>25} + 85,62 \quad (2.1)$$

$$M_{10} = 0,0014G^{2_{>25}} - 0,0081G_{>25} + 8,37 \quad (2.2)$$

де  $G$  - кількість класу  $>25$  в шихті, %.

Проведені дослідження розподілу насипної щільності звичайної шихти і ЧБШ у камері коксування показали (рис.2.5), що при використанні останньої вона більша і характеризується більшою рівномірністю.

У відповідності з дослідженими особливостями було розроблено нову температурну криву опалення коксових печей і проведено впровадження відповідного теплового режиму батарей №№ 5, 6.



**Рис.2.5. Розподіл щільності звичайної вугільної шихти (1) й ЧБШ (2) за довжиною камери на рівні 2,1 м від поду**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

### 2.2.3 Дослідження впливу коксу із частково брикетованої шихти на роботу доменних печей

Для перевірки теоретичних положень вироблення ЧБШ та ефективності використання одержаного з неї коксу авторами [20] були проведені тривалі доменні плавки на доменних печах (ДП) «АМКР» обсягом  $1361 \text{ м}^3$  і № 8

обсягом 2700 м<sup>3</sup>. Частка дослідного коксу на ДП № 2 склала 20,3 %, а на ДП № 8 - 26,8 %. На ДП № 2 подавався кокс батареями 1-4, на ДП № 8 - батареями 8-10. Із ЧБШ вироблявся кокс на батареях 5,6 (табл.2.12) з шихти проектного складу, яка відрізнялась від базової більшим вмістом вугілля марки Г на 25 %, марки ПС на 10 %, показник «у» брикетованої частини складав 7-8 мм, вміщуючої частини - 14-15 мм.

Таблиця 2.12

### Середні показники якості дослідного і базового коксів

Кокс	№ кокс бат.	Технічний аналіз				Міцність, %				$\Delta Q_v$ , Г/кг·м <sup>3</sup>	R, мл/Г·с
		W <sub>r,t</sub>	A <sup>d</sup>	S <sup>d</sup> <sub>t</sub>	V <sup>daf</sup>	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	D <sub>Г</sub> <sup>к</sup>	C <sub>Г</sub> <sup>к</sup>		
Базовий	1-4	3,9	10,4	1,55	1,0	89,7	6,2	55,4	26,5	3,84	0,44
Базовий	8-10	2,4	10,4	1,55	1,0	88,7	6,4	55,9	25,0	3,52	0,28
Дослідний	5-6	3,8	10,4	1,54	1,0	87,7	6,4	58,0	23,5	3,13	0,25

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Таким чином, результати дослідних доменних плавок виявили суттєве поліпшення техніко-економічних показників ДП при роботі з використанням дослідного коксу, завдяки зниженню питомої витрати коксу на 0,4-1,2 % та підвищенню продуктивності печей на 1,2-2,8 %. При цьому отримані нові дані про вплив реакційної здатності коксу на роботу ДП.

#### 2.2.4 Розробка методу збільшення виходу валового коксу при частковому брикетуванні вугільної шихти

Більший вміст у ЧБШ газового вугілля, а також добавка до неї зв'язуючого призводять до зниження виходу валового коксу. Використовуючи наявність у шихті зв'язуючого, доцільно для підвищення виходу валового коксу ввести у неї ту чи іншу інертну добавку, бажано з відходів або супутніх продуктів коксохімічного або металургійного виробництва. Оскільки коксовий дрібняк (КД) є супутнім продуктом, то його доцільно використати

для цієї мети. Щоб одержати при цьому якісний кокс, потрібно забезпечити необхідний контакт коксового дрібняку з пластичними речовинами у процесі коксування. Цього можна досягти додаванням коксового дрібняку тільки в брикетовану частку шихти і збільшенням поверхні контакту його з вугільними зернами, тобто його подрібненням до необхідної (оптимальної) межі. Визначення раціонального рівня подрібнення коксового дрібняку проводили шляхом дослідних коксувань ЧБШ (20 %) складу, %: Г - 45, Ж - 30, К - 10, ПС - 15, змішаною з коксовим дрібняком, подрібненого до різної крупності. Було встановлено, що для одержання кондиційного коксу достатнім є подрібнення до 80 % класу <3 мм. При промисловому подрібненні коксового дрібняку разом з шихтою після впровадження спеціальних заходів по поліпшенню роботи молоткової дробарки була досягнута ступінь подрібнення коксового дрібняку до 60-80 % класу <3 мм. Вміст брикетів в шихті складав 20 %, коксового дрібняку - 1,3 і 5 %. Марочні склади шихти подані в табл. 2.13.

Таблиця 2.13

#### Марочні склади шихти за участю коксового дрібняку

Марка вугілля	Марочний склад шихти, %						
	Вар. 0	Брикетована частина			Загальна частина		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
Г	45	65	55	45	45	45	45
Ж	30	30	30	30	27	27	27
К	10	-	-	-	10	10	10
ПС+П	15	-	-	-	17	15	13
КД	-	5	15	25	1	3	5

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Проводили серійні коксування цих шихт, а також шихти без коксового дрібняку складу, %: Г - 45, Ж - 30, К - 10, ПС+П - 15 (вар. 0) по 5-7 печей. Результати цих експериментів подані в табл.2.14.

Одержані дані показують, що введення у шихту 3 % КД збільшує вихід валового коксу на 1,4 %, доменного коксу від валового на 1,2 % і майже не погіршує якості доменного коксу. При збільшенні кількості дрібняку до 5

% неможливо одержати кондиційний доменний кокс, але з урахуванням вимог до ливарного або феросплавного, такі кокси можливо виробляти і також досягти при цьому економічного ефекту.

Таблиця 2.14

**Вихід і показники якості коксу**

Шихта, варіант	Вихід валового коксу, %	Вихід класів коксу щодо крупності (мм), %			Показники якості коксу доменного, %			
		> 25	25-10	< 10	+ 80 мм	- 25 мм	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>
0	76,3	91,9	3,1	5,0	13,7	3,5	88,3	7,0
1	77,0	92,7	2,7	4,6	13,9	3,5	88,3	7,0
2	77,7	93,1	2,4	4,4	15,2	4,3	87,8	7,3
3	78,3	93,9	2,0	4,1	19,9	5,0	85,2	8,4

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Одним із напрямків підвищення економічної ефективності технології ЧБШ є утилізація відходів, окрім полімерів бензольного відділення, таких як кам'яновугільна смола, фуси та масла, що отримуються після механічного очищення стічних вод біохімічної установки. Завдяки їх впровадженню було вироблено 565 тис. тонн брикетів та утилізовано 20 тис. тонн зазначених речовин. Також було розроблено спосіб утилізації замасленої дрібнодисперсної окалини прокатного виробництва, яка містить до 70 % окалини, 20 % мастила та 10 % води. Фізичні характеристики цього матеріалу наступні: дійсна густина - 4,8 г/см<sup>3</sup>, щільність - 2,15 г/см<sup>3</sup>, вміст оксидів заліза становить близько 95 %, а крупність зерен - 67 % класу <1 мм. Було розроблено методику подачі цієї окалини у шихту. Встановлено, що додавання окалини в ЧБШ у кількості 0,5 % покращує показники якості коксу: M<sub>25</sub> підвищується на 0,4 %, а M<sub>10</sub> - на 0,2 %, що пояснюється утворенням більш впорядкованої структури коксу. Тривале використання понад 50 тис. тонн окалини дозволило не лише підвищити якість коксу, а й отримувати додатково з кожної тонни суміші 60 кг коксу, 42 кг кам'яновугільної смоли, 60 кг коксового газу, 22 кг бензольних вуглеводнів та 500 кг заліза. У доменному виробництві це дало

змогу знизити витрати коксу на 2,9 кг/т чавуну та підвищити продуктивність доменної печі на 0,45 %.

Таким чином, виконані широкомасштабні дослідно-промислові дослідження технології часткового брикетування шихти для виробництва доменного коксу на діючих доменних печах показали високу їхню ефективність як у частині розширення сировинної бази коксування, так і за рахунок поліпшення якості коксу.

### 2.3 Розрахунок технологічного обладнання

Приймаємо кількість вугільної робочої шихти  $3,197 \cdot 10^6$  т/рік.

На брикетування поступає 30 % робочої вугільної шихти. Шихта зволожується на 2% в змішуваче-підігріваче (коефіцієнт зволоження 1,02 [19])

Кількість робочої шихти на виробництво брикетів з урахуванням її додаткового зволоження:

$$G_{\text{ш.бр.}} = \frac{3197000 \cdot 30 \cdot 1,02}{100} = 978,3 \text{ тис. т / рік} \quad (2.3)$$

Продуктивність пресів становить від 50 до 79 т/година[19]. Приймаємо 75 т/ годину. Робоча доба 17,5 годин, тоді продуктивність пресів у рік становить

$$75 \cdot 17,5 \cdot 365 = 504613 \text{ т/рік.} \quad (2.4)$$

Тоді кількість пресів для виробництва шихти складе:

$$75 \cdot 17,5 \cdot 365 = 504613 \text{ т/рік.} \quad (2.5)$$

$$n = 9783000 / 504613 = 1,94 \sim 2 \text{ преса} \quad (2.6)$$

Таким чином, для виробництва вугільних брикетів з 30 % вугільної шихти необхідно 1 комплект основного встаткування. В один комплект устаткування входить: брикетний прес, змішувач, накопичувальний бункер.

Розраховуємо необхідну кількість вугільної шихти в добу:

$$3197000 / 365 = 8759 \text{ т/добу} \quad (2.7)$$

Визначаємо, яка кількість вугільної шихти йде на брикетування в добу:

$$\frac{3197000 \cdot 30}{100} : 365 = 2628 \text{ т/добу} \quad (2.8)$$

При роботі брикетної установки 17,5 годин/добу

$$2628 : 17,5 = 150 \text{ т/годину} \quad (2.9)$$

Визначаємо, яка кількість шихти, що вміщає, у добу:

$$\frac{3197000 \cdot 70}{100} : 365 = 6331,2 \text{ т/добу} \quad (2.10)$$

При роботі дозувального відділення 17,5 годин/добу кількість шихти, що вміщає, складе:

$$6331 : 17,5 = 350 \text{ т/годину.} \quad (2.11)$$

З огляду на те, що дозувальне відділення складається з 28 силосів, які розподілені по 14 силосів на 2 нитки А і Б і для більше зручного дозування по нитці А дозується шихта, що вміщає, у кількості 350 т/година, а по нитці Б - брикетуєма, у кількості 150 т/година [16]. Виходячи із прийнятої складу загальної шихти, приймаємо необхідну для дозування кількість силосів:

Для шихти, що вміщає: Г

$$\frac{350 \cdot 31,4}{100} = 109,9 \text{ т/добу} \quad (2.12)$$

Для брикетуємої шихти: Г

$$\frac{150 \cdot 16,7}{100} = 25,0 \text{ т/добу} \quad (2.13)$$

Для всіх перерахованих вище компонентів шихти кількість необхідних силосів розрахована по такій же методиці.

## **2.4 Заходи із охорони праці та безпеки життєдіяльності**

Впровадження технології часткового брикетування вугільної шихти перед її коксуванням вносить суттєві зміни до характеру виробничих ризиків вуглепідготовчого цеху. Цей технологічний етап пов'язує між собою класичне конвеєрне транспортування сипких матеріалів та пресове виробництво під високим тиском з використанням сполучних компонентів. В результаті виникає комплекс специфічних небезпечних та шкідливих факторів, що потребують особливих заходів контролю та захисту персоналу.

### **2.4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників в умовах брикетної фабрики**

Розглянемо ризики при роботі з пресовим обладнанням та гідравлічними системами. Основним вузлом ділянки брикетування є вальцеві преси, які формують брикети з дрібнодисперсної вугільної маси (рис.2.6). Робота цього обладнання пов'язана з екстремальними механічними навантаженнями та високими тисками пресування.

Проаналізуємо механічні небезпеки. Головну загрозу представляє зона захоплення шихти валками преса, що обертаються. Попадання сторонніх предметів або кінцівок персоналу в цю сферу призводить до миттєвих тяжких травм. Безпека забезпечується жорстким блокуванням захисних кожухів. Система автоматизації налаштовується так, що при знятті або зміщенні кожуха подача живлення на прес-привід моментально припиняється.



**Рис.2.6. Вальцевий прес для пресування та формування вугільних брикетів**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Високий тиск у гідросистемах: стабільне притискання валків забезпечується потужними гідравлічними циліндрами, робочий тиск у яких може досягати десятків мегапаскалів. Небезпека полягає в можливості раптової розгерметизації трубопроводів, вузлів з'єднань або приводних шлангів. Викид струменя гідравлічного масла під таким тиском здатний пробити шкірні покриви людини або викликати важкі хімічні опіки очей. Усі гідравлічні магістралі підлягають обов'язковому екрануванню захисними лотками та кожухами, а справність запобіжних клапанів перевіряється перед початком кожної зміни.

Токсикологічна та пожежна небезпека сполучних матеріалів

Процес часткового брикетування вугільної шихти рідко обходиться без застосування сполучних добавок (нафтових пітчів, кам'яновугільних смоли, бітумів або лігносульфонатів). Використання цих речовин докорінно змінює хімічну обстановку в цеху (табл. 2.15)

При підігріві та змішуванні сполучного з вугільною шихтою в повітря робочої зони починають виділятися леткі органічні сполуки. Кам'яновугільні

та нафтові сполучні містять у своєму складі бенз(а)пірен, феноли та канцерогенні поліциклічні ароматичні вуглеводні. Постійний контакт зі своїми парами викликає гострі подразнення слизових оболонок, дерматити, а довгостроковій перспективі несе ризики онкологічних захворювань.

Таблиця 2.15

### Аналіз ризиків при використанні зв'язуючих добавок

Група ризиків зв'язуючих	Характер впливу та джерела	Заходи технічного захисту
Токсичність та канцерогенність	Виділення парів бенз(а)пірену та фенолу під час нагрівання суміші	Герметизація змішувальних ємностей, локальні аспіраційні укриття
Пожежна небезпека добавок	Нагрівання органічних зв'язуючих речовин вище температури спалаху	Автоматичний контроль температурного режиму, системи водяного або пінного гасіння

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Особливості пилового режиму та запобігання вибухам

Всупереч тому, що кінцевою метою брикетування є укрупнення матеріалу та зниження його порошини, сам процес підготовки шихти до пресування характеризується критичними ризиками пиловиділення.

Для якісного пресування вугільна шихта повинна мати певну фракцію і мінімальну вологість. Пересушений дрібний вугільний пил перед подачею в бункери преса легко переходить у зважений стан при найменшій розгерметизації трактів.

Оскільки технологічний процес вимагає підігріву суміші (для розм'якшення сполучного), виникає небезпечне поєднання факторів: горюча пилоповітряна суміш високої концентрації та наявність потенційних джерел нагріву.

Для мінімізації вибухопожежонебезпеки на ділянці брикетування реалізуються такі жорсткі правила:

А саме застосування інертних середовищ: сушильні агрегати та закриті бункери дрібної пересушеної шихти можуть подавати інертний газ (азот або

димові гази з низьким вмістом кисню) для виключення умов виникнення вибуху.

Крім того, контроль статичної електрики: рух сухої вугільної маси трубопроводами і течками преса викликає накопичення статичних зарядів. Всі елементи технологічного обладнання, включаючи корпуси пресів, змішувачів та конвеєрів, поєднуються в єдиний контур заземлення.

Також застосовується установка вибухорозрядників: корпуси бункерів і змішувачів оснащуються мембранами, що легко скидаються (вибуховими клапанами). При різкому стрибку тиску у разі мікробавовни мембрана руйнується, спрямовано відводячи енергію вибуху та полум'я за межі будівлі цеху в безпечну зону, що запобігає руйнуванню несучих конструкцій.

Комплексний моніторинг параметрів тиску гідравліки, температури нагрівання суміші, концентрації горючих газів та пилу у рамках єдиної АСУ ТП дозволяє звести ризики процесу часткового брикетування до нормативних показників безпеки.

Аналізуючи вплив шкідливих і небезпечних чинників (шум, теплові вимірювання, вібрація, запиленість, загазованість, запарованість) можна сказати, що в умовах цеху дія цих чинників особливо небезпечна для здоров'я робітників, неможливо їх уникнути, проте можна зменшити їх шкідливий і небезпечний вплив на людину тому визначимо основні заходи для зниження їх дії.

#### **2.4.2 Заходи щодо зниження та усунення шкідливих та небезпечних чинників у вуглепідготовчому цеху**

Для захисту операторів та ремонтного персоналу на ділянках дозування та змішування встановлюються автоматичні датчики безперервного контролю загазованості. Персонал забезпечується спеціальними фільтруючими протигазами та костюмами з хімічно стійким просоченням.

Для зниження запиленості повітря в приміщеннях необхідно викласти поверхню підлог та устаткування. Збирання пилу в приміщеннях варто робити

гідрозмивом. Для цього в проекті передбачається фарбування стін фарбами, що не змиваються, а підлога повинна мати нахил для стоку води.

Далі розглянемо шляхи усунення акустичних, вібраційних та термічних факторів в приміщенні брикетування. Негативний вплив шуму, вібраційних коливань та теплових випромінювань у робочих зонах брикетних виробництв вкрай деструктивно впливає на здоров'я персоналу. Насамперед ці шкідливі фактори провокують перенапругу нервової системи, знижують ефективність відновлення організму в періоди відпочинку, а також стимулюють розвиток хронічних патологій.

### 1. Шум та заходи боротьби з ним

Верхня межа нормального сприйняття виробничого шуму людським вухом становить 75-80 дБ. Якщо цей показник зростає на 20-40 дБ, у працівників виникають болючі відчуття, а рівень у 130 дБ вважається критичним межею для органів слуху.

У разі брикетних фабрик ключовими джерелами акустичного забруднення виступають: грохоти та дробильні установки; стрічкові конвеєри; промислові вентилятори та супутні агрегати.

За характером прояви шуми класифікують на постійні (коливання звукового рівня в межах 5 дБ) та непостійні (амплітуда змін перевищує 5 дБ).

### 2. Рекомендовані методи зниження шуму

Модернізація обладнання із заміною галасливих вузлів на малошумні аналоги. Повноцінна звукоізоляція агрегатів. Впровадження автоматизованих систем та дистанційного керування для виведення персоналу з небезпечних зон. Повсюдна відмова від відкритих зубчастих передач на користь закритих редукторів. Застосування високоеластичних муфт із спеціальними гумовими демпфуючими елементами.

### 3. Рекомендовані методи усунення вібрації

Вібраційні навантаження сприймаються тілом людини як загальні періодичні струси. Виходячи з частоти та інтенсивності коливань, у

працівників можуть розвиватися: систематичні запаморочення; порушення мовної та дихальної функцій; підвищена сонливість та швидка стомлюваність; шум у вухах та почуття внутрішнього тремору. При переході частоти вібрації за позначку 15-20 Гц у людини може виникати безпричинне відчуття тривоги або страху, а також серйозно порушується координація та робота вестибулярного апарату. Головними генераторами вібрацій на фабриках є преси, гуркіти, вентиляційні системи та аналогічні механізми.

Для мінімізації вібраційної дії застосовуються такі технологічні рішення:

- монтаж виробничих потужностей на спеціалізовані віброізолюючі основи та фундаменти;
- ретельне усунення динамічного дисбалансу в елементах високооборотистих машин, що обертаються;
- коригування жорсткості фіксації обладнання до фундаментів, що дозволяє суттєво знизити амплітуду коливань.

Постачання персоналу засобами індивідуального захисту, зокрема — спеціальним віброізолюючим взуттям у зонах підвищеної небезпеки.

#### Термічні дії

Процеси обслуговування сушильних комплексів та парових систем пов'язані з інтенсивним виділенням тепла. Це веде до систематичного перегріву організму співробітників, падіння імунітету та зростання простудних захворювань. Для запобігання подібним ризикам на цих ділянках необхідно забезпечувати максимальну герметизацію і теплоізоляцію всіх поверхонь, що нагріваються.

#### Загальні вимоги до організації робочих місць

Параметри освітленості робочих зон, ергономіка обслуговування, зручність проведення монтажних робіт, взаємне просторове розташування технологічних агрегатів, а також оснащеність вантажопідійомними механізмами регламентуються нормами техніки безпеки та правилами технічної експлуатації. При проектуванні виробничих

приміщень рекомендується уникати створення технологічних заглиблень і приямків нижче нульової позначки.

#### Компонування пресового відділення

Для розміщення пресового обладнання проектується ізольована будівля, оснащена високопродуктивною припливно-витяжною вентиляцією.

Специфіка розміщення пресових агрегатів визначає просторову структуру фабрики: при використанні вальцових пресів реалізується суворе секційне планування підприємства. При інтеграції штемпельних пресів секційність закладається, виходячи з продуктивності вибраних сушильних установок. Технологічні правила монтажу пресів.

Подача висушеного вугільного матеріалу на пресування має здійснюватися з мінімальними перепадами за висотою.

Агрегати монтуються на поперечних відмітках вище за нульовий рівень з дотриманням нормативних міжремонтних відстаней, що гарантують вільний доступ для персоналу.

У безпосередній близькості до обладнання монтуються контрольно-вимірювальні прилади та комплекси для експрес-контролю якості готової брикетної продукції.

Вантажопідйомність та габарити підйомно-транспортних механізмів підбираються з розрахунком на переміщення найбільш потужної конструктивної деталі преса.

Змішувальні агрегати для підготовки брикетної маси, дозуючі комплекси та супутні транспортні вузли обов'язково герметизуються та оснащуються локальними системами витяжної вентиляції.

#### Вимоги до сушильного відділення

Сушильний цех зазвичай конструктивно об'єднується в єдиний блок з головним корпусом фабрики. При цьому він відокремлюється від основної будівлі спеціальною вибухозахисною стіною, розрахунковий опір якої тиску вибухових газів значно перевищує міцність інших огорожувальних конструкцій сушильного ділянки.

Устаткування для сушіння шихти komponується за блочно-агрегатним принципом і включає: топковий вузол із розпалювальною трубою.

Індивідуальний комплекс апаратури для уловлювання твердих механічних домішок.

### 2.4.3 Пожежна безпека

Відповідно до класифікації виробництв по пожежній небезпеці вуглеліпідготовчий цех можна віднести до категорії Б, так як у ньому утворюється багато вугільного пилу в межах до  $65 \text{ г/м}^3$  до об'єму повітря.

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі, системою пожежного захисту та заходами організаційного характеру. До організаційних заходів щодо забезпечень пожежної безпеки відносяться: пожежна охорона об'єкту спеціальними формуваннями; розробки і здійснення правил і норм пожежної безпеки, правил дотримання протипожежного режиму та установлених заходів щодо ліквідації пожежі; навчання робітників мірам пожежної безпеки.

Заходи промислової та пожежної безпеки у сушильному цеху:

Категорично заборонено облаштування підвальних приміщень під сушильним відділенням. На кожному технологічному перекритті обов'язково передбачається щонайменше двох евакуаційних виходів. Технологічні комунікації повинні мати мінімально можливу довжину. У трасах транспортування висушеного вугілля не допускається наявність тупикових зон і «мішків», здатних акумулювати вибухонебезпечний вугільний пил. Кут нахилу газоходів щодо горизонталі повинен становити не менше  $45^\circ$  для запобігання осіданню осаду. До ділянки мокрому шлаковидалення обов'язково підводиться технологічна вода для гасіння та охолодження зольного залишку.

## 2.5 Висновки до основної частини

1. В роботі визначено, що брикетувати слід не просто частину шихти, як це прийнято на практиці, а тільки найменш спікливу її частину, щоб досягти не тільки розширення сировинної бази коксування, а й поліпшення якості коксу.

2. Частково брикетована шихта, більш ніж звичайна, схильна до сегрегації при її транспортуванні (перевантаженні), має більшу насипну щільність та теплопровідність. А ці чинники є важливими для визначення правильного режиму опалення коксових печей.

3. Визначено, що для ЧБШ використовують зв'язуюче як коксохімічного, так і нафтохімічного походження. При виборі маси й форми брикетів варто виходити з умов раціональної конструкції валків, що пресують, і доброго змішання брикетів з їхньою шихтою, що вміщає. Брикети, отримані на сучасних високопродуктивних валкових пресах, мають подушкоподібну форму. При долі цілих брикетів у шихті, рівної 30 %, приріст насипної щільності шихти складе 8 %, а збільшення продуктивності печей залежно від можливостей коректування теплотехнічного режиму 4-5 %. При вмісті брикетів 15 % приріст насипної щільності шихти складе всього 2-3 %; при цьому показники міцності коксу не зміняться [17]. Як показують дослідження, реального економічного ефекту можна чекати при коксуванні частково-брикетованої шихти зі вмістом >20 % брикетів [17].

4. При підвищенні разового завантаження коксових печей шляхом ущільнення шихти при її брикетуванні збільшується період коксування при незмінному температурному режимі, скорочується добове число видач коксу, завдяки чому поліпшуються умови експлуатації коксових печей.

5. Можливості установок часткового брикетування шихти використовуються недостатньо в плані вирішення проблеми охорони довкілля, наприклад, для утилізації промислових відходів.

6. Важливість проблеми охорони довкілля потребує розробки способів утилізації в процесі брикетування відходів та супутніх продуктів коксохімічного та металургійного виробництва, а саме: коксового дрібняку, смоляних відходів хімічних цехів та дрібнодисперсної замащеної прокатної окалини.

7. При коксуванні частково брикетованої шихти запропонованого складу, механічна міцність коксу за показником  $M_{25}$  покращилася на 0,7 % зі зв'язуючим Брикетин-1 з 83,4 до 84,1 % та на 1,3 % зі зв'язуючим КВАГУ-Б з 83,4 до 84,7 %. Показник стираності  $M_{10}$  знизився на 1 % та 1,5 % відповідно.

8. Результати дослідних доменних плавок виявили суттєве поліпшення техніко-економічних показників ДП при роботі з використанням дослідного коксу, завдяки зниженню питомої витрати коксу на 0,4-1,2 % та підвищенню продуктивності печей на 1,2-2,8 %.

Таким чином, при коксуванні частково брикетованої шихти відбувається покращення якості коксу за показниками механічної міцності й виходу класу + 80 мм. Отриманий кокс у меншому ступені буде перетерплювати руйнування від стираних впливів: має більше низьку хімічну активність і реакційну здатність, що значно поліпшить роботу газового потоку доменних печей, приведе до збільшення їх продуктивності й знизить витрату коксу на 1 т чавуну.

## ВИСНОВКИ

1. В роботі проведено дослідження підвищення ефективності якості доменного коксу, що отримується з частково брикетованих вугільних шихт. У межах роботи, на підставі вивчення науково-технічних літературних джерел, запропоновано нове зв'язуюче для брикетування шихти, раціональний режим брикетування і коксування, принципи утилізації відходів виробництва.

2. З відходів та супутніх продуктів нафтохімічного виробництва запропоноване зв'язуюче КВАГУ-Б для частково брикетованої вугільної шихти, яка поступає на виробництво доменного коксу.

3. Науково доведено, що частково брикетована шихта повинна готуватись із двох шихт, що відрізняються марочним складом і спіклівістю, а саме: вміщуючої шихти із товщиною пластичного шару  $u \approx 14$  мм та брикетованої шихти з  $u = 7-8$  мм.

4. Визначено, що взаємодія зв'язуючого із вугільним зерном у процесі брикетування є поверхневим процесом. Для досягнення більшої міцності брикетів потрібно більш в'язке зв'язуюче спершу подавати в більш метаморфізоване вугілля і навпаки. При використанні більш в'язкого КВАГУ-Б потрібно його змішувати спершу з вугіллям марок ПС, а потім з малометаморфізованим вугіллям. Оскільки найменш спікливу частину шихти представляють марки вугілля ПС, то вони повинні бути основною брикетованою частиною шихти, для яких більш ефективним є використання більш в'язкого зв'язуючого.

5. У промислових умовах одержані математичні залежності, які дозволяють визначити оптимальні технологічні параметри брикетування: зазор між пресуючими валками 4-6 мм, кількість зв'язуючого - 7 %, температура змішування 66-69 °С. Вперше встановлено, що температура змішування повинна перевищувати температуру розм'якшення зв'язуючого на 18-20 °С. При цьому забезпечується вихід цілих брикетів (класу  $> 25$  мм) не менше 85

%, що на 15 % більше, ніж до оптимізації цього процесу. Збільшення виходу брикетів при збільшенні зазору або порушенні температурного режиму можна компенсувати відповідним збільшенням витрати зв'язуючого.

6. На основі експериментальних досліджень отримані математичні рівняння, які пов'язують вміст у ЧБШ цілих брикетів (класу >25мм) та показники міцності коксу  $M_{25}$  і  $M_{10}$ . Оптимальним вмістом є той, при якому забезпечується максимальна насипна щільність шихти - 26 %.

7. Застосування при брикетуванні шихти зв'язуючого КВАГУ-Б замість "Брикетин-1" призводить не тільки до поліпшення механічної міцності коксу, а також до зниження його реакційної здатності. Добавка 20 % коксу з частково брикетованої шихти до звичайного коксу дозволяє знизити витрати коксу на 1 т чавуну на 1,2 % і підвищити продуктивність доменної печі на 2,8%.

8. За рахунок впливу тиску та наявності зв'язуючого при брикетуванні шихти для виробництва доменного коксу можливе використання до 3 % коксового дрібняку, необхідний ступінь здрібнення якого (до 80 % класу < 3 мм) можна досягти в типовій дробарці вуглепідготовчого цеху.

9. Часткове брикетування шихти дає змогу утилізувати у шихтах для коксування смолоподібні відходи хімічних цехів коксохімічного виробництва та замаслену дрібнодисперсну окалину металургійного виробництва. Розроблено спосіб транспортування і введення у шихту цієї окалини. Показано позитивний вплив цього заходу: поліпшення якості коксу і відповідне поліпшення роботи доменної печі, одержання додаткового коксу, коксового газу, хімічних продуктів, відновленого заліза (0,5 т на 1 т окалини).

10. Визначено, що у результаті брикетування виходить шихта з товщиною пластичного шару 14,7 мм, виходом летких речовин 28% і насипною щільністю в камері коксування  $0,78 \text{ г/м}^3$ . Коксування такої шихти дозволить поліпшити якість коксу по показниках  $M_{25}$  і  $M_{10}$  на 0,6 % і 1,0 % відповідно[18].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lyalyuk V.P., Sheremet V.A., Otorvin P.I., et al. Improving the preparation of coal blends - a way to improve the quality of coke for blast furnace smelting // Ferrous metallurgy. - 2010. - No. 3. - P. 25-31.
  2. Lyalyuk V.P., Tarakanov A.K., Kassim D.A. Influence of coke reactivity on the technical and economic indicators of blast furnace smelting // Coke and chemistry. - 2011. - No. 2. - P. 16-22.
  3. Zolotarev I.V., Goransky P.Yu., Borovikov et al. Efficiency of using improved quality blast furnace coke (KD-1U) of CJSC Makeyevkoks at CJSC Makeevsky Metallurgical Plant // Coal and Chemical Journal. - 2007. - №3-4. -P.36-42.
  4. Gainieva G.R., P'yankov B.F., Roizen L.S., et al. Study of the influence of technological factors on the strength characteristics of blast furnace coke // Steel. - 2004. - № 5. -P.4-7.
  5. Sheremet V.A., Uchitel A.D., Otorvin P.I., Lyalyuk V.P., Lyakhova I.A., Kassim D.A., Listopadov V.S., Pisar S.A. Improving the quality of coke for blast furnace smelting by increasing the bulk density of coal charge // Metallurgical and mining industry.-2010.-№ 1.-P.27-31
  6. Stepanov Yu.V., Popova N.K., Shestoperova A.V. Once again on the efficiency of selective grinding of coal blend for coking // Coke and Chemistry. - 2010. - No. 7. - pp. 17-19.
  7. Uchitel A.D., Zasel'skiy V.I., Zaitsev G.L. Improving the process of coal blend preparation for coking // Metallurgical and mining industry. - 2008. - No. 1. - pp. 32-34.
  8. Stankevich A.S., Stepanov Yu. V. Forecasting coke strength based on chemical and petrographic parameters of coal blends taking into account their pneumatic separation // Coke and Chemistry. - 2005. - No. 12. - pp. 14-21.9.
- Кушнарєв А.В., Киричков А.А., Беркутов Н.А. Оптимизация угольной базы коксования ОАО НТМК для достижения мирового уровня показателей CSR и

CRI кокса // Сталь. - 2007. - № 11.-С. 54-58.

10. Babanin B.I., Babanin V.I., Permyakov E.A. On the Formation of Strength Properties of Coke in the Combined Process of Thermal Preparation of the Charge and Coke Quenching // Coke and Chemistry.-1985.-№ 8.-P. 18-22.

11. Kovalev E.T., Vasiliev Yu.S. Theory and Practice of Production of High-Quality Blast-Furnace Coke from Compacted Charges with Reduced Caking Ability // UDC 669.162.16.004

12. Gural V.V., Krivonos V.V. Production of Metallurgical Coke Based on a Combination of Charge Compaction and Dry Quenching - an Effective, Environmentally Friendly, and Energy-Saving Technology // Coke and Chemistry.-2008.-№ 8.-P.23-31.

13. Karpov A.V., Kuznichenko V.M., Lobov A.A. Operation of a Blast Furnace Using Coke from Compacted Coal Charges // Coke and Chemistry.-1997.-№ 8.- pp. 9-13.

14. Sukhorukov V.I. et al. Coking of Partially Briquetted Coal Charge under Industrial Conditions // Coke and Chemistry. 1982. No. 5. pp. 19-24

15. Krishen I.G. Features of Briquetting of Low-Aggregate Coal with Different Organic Binders // Coal Chemistry Journal. 2002. No. 1-2. pp. 14-17.

16. Braun N.V., Glushchenko I.M., Kovtunencko E.N., Panchenko N.I. Analysis of resources for the production of binders for partial briquetting of coal blends and some directions in the development of technology for their production // Coke and Chemistry. - 1986. - No. 6. - pp. 9-13.

17. Nefedov P.Ya., Kopeliovich L.V., Eremin A.Ya., Mishchikhin V.G., Ryvkun I.Yu., Litvin E.M. The role of a binder as a sintering component of partially briquetted blend // Coke and Chemistry. - 1987. - No. 3. - pp. 18-22.

18. Braun N.V., Glushchenko I.M., Panchenko N.I., Ivchenko A.Yu. On the Possibility of Using Coke-Chemical Production Waste as a Binder in Coal Charge Briquetting // Coke and Chemistry. - 1986. - No. 5. - pp. 16-19.

19. Technological Instructions for the Production of Briquettes in a Partially Briquetted Charge Unit under Kashkadarya Coke and Chemical Plant Conditions.

Approved by Chief Engineer of Kashkadarya Coke and Chemical Plant on 22.10.1987; Valid from 01.01.1987. - Krivoy Rog. - 90 p.

20. Кришень І.Г. Удосконалення промислової технології виробництва коксу із частково брикетованої шихти: Автореф.дис. канд. техн. наук / Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут (УХІН) Міністерства промислової політики України.- Харків - 2003 р.

21. Industrial Testing of the Efficiency of a Method of Partial Briquetting of Coal Charge with a Binder. Yu.S.Vasiliev, A.G.Dyukanov, Yu.G.Kaftan, et al. // Coke and Chemistry. - 1985. - No. 6. - Pp. 10-14.

22. Methodological Guidelines for Completing the "Occupational Safety" Section in Diploma Projects and Theses for Students of All Specialties. / Comp.: L.V.Babenko, B.Yu. Zosimov - Dnepropetrovsk: NMetAU, 2004. - 19 p.

23. В.О. Шеремет, О.І. Каракаш, В.Ф. Марунчак, Ю.В. Щербіна, В.П. Кириленко Довідковий посібник керівника та спеціаліста гірничо-металургійного підприємства з охорони праці. Навчальний посібник. - Дніпропетровск: ПП «Ліра ЛТД», 2005. - 850 с.



## Метадані

### ДОКУМЕНТ

Заголовок

161-12д-д

Автор

161-12д-д

Науковий керівник / Експерт

Шмельцер К.О.

ІД документа

334137425

### ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

### ЗВІТ

Дата з'яту

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.



10063

Кількість слів



78413

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		0
Інтервали		0
Мікропробіли		1
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		41

## 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 (FRAGMENTIS)

## Д О В І Д К А

### про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

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

«Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим на вихід і якість продуктів коксування»

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Слепцов Данило Васильович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 65 сторінка друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrikePlagiarizm.com».

Рівень оригінальності становить 8,68 % (КП 1)

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК

(подальшого розгляду, друку,

опублікування) кафедри Хімічних технологій та інженерії

на засіданні \_\_\_\_\_

(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 вищої освіти

*Слепцова Данили Васильовича*

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(шифр, назва)

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна робота бакалавра

Тема кваліфікаційної роботи «Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим на вихід і якість продуктів коксування»

Керівник кваліфікаційної роботи: к.т.н., доцент К.О. Шмельцер

(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.				
2	Основна частина	Шмельцер К.О.				
3						
4						

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

( підпис )

Шмельцер К.О.

(ініціали, прізвище)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

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

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ  
 РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Здобувача вищої освіти Слепцова Данили Васильовича  
 (прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-22

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим на вихід і якість продуктів коксування»

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>65 стор.;</u>
таблиць	<u>18;</u>
схем і рисунків	<u>6;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

**Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра:**

Кваліфікаційна робота бакалавра виконано на актуальну тему.

Якісною відмінністю кваліфікаційної роботи є комплексний аналіз впливу часткового брикетування шихти на фізико-механічні та хімічні властивості продуктів коксування, що дозволяє суттєво оптимізувати технологічний процес. Автор ефективно обґрунтував вибір оптимального типу зв'язуючого, підтвердивши результати дослідження порівняльними лабораторними випробуваннями якості отриманого коксу. Робота демонструє високий рівень системного підходу та прикладну цінність для вдосконалення технології підготовки шихти на підприємствах коксохімічної галузі. Запропоновано заходи щодо охорони праці у цеху.

**Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра**

До недоліків роботи слід віднести недостатньо повний аналіз економічної ефективності впровадження запропонованої технології брикетування в масштабах діючого коксохімічного виробництва. Також у дослідженні не враховано вплив довготривалого зберігання брикетованої шихти на стабільність її фізико-хімічних характеристик, що є важливим фактором для практичного застосування

**Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання,**

Під час роботи над кваліфікаційною роботою здобувачем зроблений глибокий аналіз існуючих літературних джерел, зроблені необхідні висновки, проаналізовано вплив різних факторів на термообробку антрациту. Ураховуючи складність обраної теми, можна вважати, що автор успішно впорався з завданням та продемонстрував не лише глибокі знання в галузі, а також вміння аналізу та критичного мислення. Кваліфікаційна робота вимагала від автора високого рівня самостійності та професіоналізму у вирішенні поставленої проблеми

Здобувач Слєпцов Данііл продемонстрував хороші аналітичні здібності, вміння аналізувати і систематизувати зібрану інформацію, а також робити самостійні висновки, пропозиції та узагальнення.

Графік виконання роботи дотримувався неухильно

### **Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра**

Робота відповідає вимогам, що висуваються до кваліфікаційних робіт на першому (бакалаврському) освітньо-кваліфікаційному рівні може бути допущена до захисту на засіданні ЕК.

**Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра \_\_\_\_\_**

Керівник Шмельцер Катерина Олегівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

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

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра  
 Здобувача вищої освіти Слепцова Данили Васильовича  
 (прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-22ск

**Тема кваліфікаційної роботи бакалавра** Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим на вихід і якість продуктів коксування

**Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи бакалавра**

Дослідження процесу часткового брикетування вугільної шихти

**Переваги кваліфікаційної роботи бакалавра**

Кваліфікаційна робота бакалавра виконано на актуальну тему. Якісною відмінністю кваліфікаційної роботи є комплексний аналіз впливу часткового брикетування шихти на фізико-механічні та хімічні властивості продуктів коксування, що дозволяє суттєво оптимізувати технологічний процес. Автор ефективно обґрунтував вибір оптимального типу зв'язуючого, підтвердивши результати дослідження порівняльними лабораторними випробуваннями якості отриманого коксу. Робота демонструє високий рівень системного підходу та прикладну цінність для вдосконалення технології підготовки шихти на підприємствах коксохімічної галузі. Запропоновано заходи щодо охорони праці у цеху.

**Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра**

У роботі не враховано вплив довготривалого зберігання брикетованої шихти на стабільність її фізико-хімічних характеристик, що є важливим фактором для практичного застосування

**Рекомендації:**

Рецензент доцент, к.т.н. Десна Наталя Анатоліївна

(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, *Слепцов Данило Васильович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Вплив часткового брикетування шихти зі зв'язуючим на вихід і якість продуктів коксування» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував 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. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований, 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.

Дата 01.06.2026

Підпис