

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

**Шмельцер Катерина Олегівна**

УДК 662.74:66.012.45.001.76(477)

**ОБҐРУНТУВАННЯ ВДОСКОНАЛЕНЬ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ  
ВУГІЛЛЯ ДЛЯ КОКСУВАННЯ В УМОВАХ СУЧАСНОЇ  
СИРОВИННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ**

Спеціальність 05.17.07 – хімічна технологія палива і  
паливно-мастильних матеріалів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

м. Дніпро – 2017

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Криворізькому металургійному інституті НМетАУ, Міністерства освіти і науки України, м. Кривий Ріг.

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК – доктор технічних наук, професор  
**Лялюк Віталій Павлович,**  
Криворізький металургійний інститут НМетАУ,  
м. Кривий Ріг,  
завідувач кафедри металургійних технологій

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ – доктор технічних наук, професор  
**Барський Вадим Давидович,**  
Український державний хіміко-технологічний  
університет МОН України,  
м. Дніпро,  
професор кафедри процесів, апаратів та  
загальної хімічної технології

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Мірошніченко Денис Вікторович,**  
Державне підприємство «Український державний  
науково-дослідний вуглехімічний інститут (УХІН)»,  
м. Харків,  
заступник завідувача вугільним відділом

Захист відбудеться “ ” \_\_\_\_\_ 2017 р. о 12<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.084.05 у Національній металургійній академії України за адресою: 49600, м. Дніпро, просп. Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національної металургійної академії України (м. Дніпро, просп. Гагаріна, 4).

Автореферат розіслано “ ” \_\_\_\_\_ 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
Д 08.084.05  
кандидат технічних наук, доцент

С. С. Федоров

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** В даний час сировинна база коксування коксохімічних підприємств України має стійкий міжбасейновий характер, при чому частка українського вугілля постійно зменшується, а якість коксу за показниками міцності ( $M_{25}$  та  $M_{10}$ ) погіршується. В цих умовах зростає актуальність комплексного підходу до вдосконалення технології підготовки вугільних шихт для коксування, який полягає в розробці методів та технологічних заходів, спрямованих на боротьбу зі змерзанням вугільної сировини, оптимізацію складу, властивостей і ступеня подрібнення шихти, а також на підвищення її однорідності з урахуванням петрографічних характеристик. Управління всім комплексом параметрів вугільної шихти дозволяє поліпшити якість коксу для доменної плавки.

Виходячи з цього, обґрунтування вдосконалень технології підготовки вугілля для коксування в умовах сучасної сировинної бази України для отримання доменного коксу з високими фізико-механічними характеристиками є актуальною науково-практичною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Зміст роботи відповідає сучасним напрямкам “Державної програми розвитку та реформування гірничо-металургійного комплексу України до 2020 р.”. Крім того, за безпосередньої участі автора виконувалась науково-дослідна робота “Розробка математичних і графічних залежностей прогнозу показників механічної і гарячої міцності доменного коксу, отриманого з трамбованої шихти в умовах КХВ ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” (№ ДР 01164008519).

**Мета і завдання дослідження.** Метою даної роботи є розробка комплексу заходів щодо підвищення якості вугільної шихти, які полягають у пошуку ефективних хімічних реагентів та дослідженні особливостей їх застосування для боротьби зі змерзанням вугільної сировини, вивченні впливу сировинних і технологічних факторів на ефективність технології підготовки вугільних шихт до коксування та фізико-механічні властивості коксу, дослідженні можливості вдосконалення технології підготовки вугільної шихти до коксування шляхом оптимізації її складу, властивостей та ступеня подрібнення з урахуванням петрографічних характеристик складових шихти в умовах міжбасейнової сировинної бази коксування.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання дослідження:

- експериментально дослідити характер впливу та витрату хімічних реагентів на процес змерзання вугілля при його транспортуванні в зимовий період;
- науково обґрунтувати вибір профілактичного засобу, який дозволяє зберегти сипкість вугільної сировини в зимовий період, а також відповідає вимогам технологічної, екологічної та економічної доцільності застосування засобу в підготовці вугілля до коксування;
- виконати аналіз впливу показників якості (петрографічних характеристик, вологості, зольності) вугільної сировини і технології її підготовки (ступеня подрібнення, насипної густини) на дробимість (за показником  $M_{25}$ ), стираність (за показником  $M_{10}$ ) та гранулометричний склад коксу;
- розробити спосіб підвищення насипної густини вугільної шихти;
- розробити метод оптимізації складу вугільних шихт з урахуванням петрографічного складу та розподілення вітринітової складової за стадіями метаморфізму;

- розробити методику визначення оптимального ступеня подрібнення типових та “ожирнених” вугільних шихт з урахуванням петрографічних характеристик;
- дослідити механізм поліпшення механічної міцності доменного коксу, отриманого з “ожирнених” вугільних шихт при зміні ступеню їх подрібнення;
- уточнити критерії оцінювання однорідності вугільної шихти та розробити заходи щодо покращення її змішування для підвищення якості коксу.

**Об'єкт дослідження:** процес підготовки вугілля до коксування та параметри якості вугільних шихт в умовах міжбасейнової сировинної бази з урахуванням петрографічних характеристик вугільних концентратів, які надходять з різних кліматичних зон.

**Предмет дослідження:** вплив сировинних факторів та кліматичних умов на ефективність технології підготовки вугільної шихти до коксування і фізико-механічні властивості коксу.

**Методи досліджень.** В роботі використовувалися стандартизовані методи вивчення технологічних властивостей вугілля та вугільних шихт (визначення гранулометричного складу, технічного аналізу, максимальної гігроскопічності та вологості), органічної і мінеральної частин вугілля (петрографічний аналіз, хімічний склад золи), а також – спеціальні методики для визначення спікливості, плинності пластичної маси за Гізелем, тиску розпору. Вивчення якісних характеристик коксу проводили з використанням фізико-механічних і термохімічних методів дослідження стандартизованих показників: дробимості ( $M_{25}$ ), стираності ( $M_{10}$ ), реакційної здатності (CRI), післяреакційної міцності (CSR). Для аналізу впливу сировинних факторів і кліматичних умов на ефективність технології підготовки вугілля до коксування і якість коксу використані методи математичної статистики та ліцензійна комп'ютерна програма Microsoft Excel, а також експериментальні дослідження в умовах коксохімічного та доменного виробництва ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у розвитку теоретичних засад комплексного управління технологією підготовки вугільних шихт – від розвантаження вугільних концентратів у вуглепідготовчому цеху (зокрема в зимовий період) до подачі шихти на коксування з урахуванням петрографічних характеристик українського та імпортованого вугілля.

1. Обґрунтовано використання для запобігання змерзання вугільних концентратів розчину хлориду магнію. Доведено, що обробка цим реагентом дозволяє зберегти сипкість вугільних концентратів навіть при температурі навколишнього середовища  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при цьому найбільш доцільна добавка хлориду магнію становить 2,5 %, а рівномірність його розподілу у вугіллі повинна бути не нижче 96–98 %.

2. Уперше на підставі петрографічних характеристик вугільних концентратів розроблені залежності визначення оптимального ступеня подрібнення вугілля для типових і “ожирнених” вугільних шихт з метою підвищення їх якості та поліпшення фізико-механічних властивостей коксу для доменної плавки.

3. Розширені теоретичні уявлення про механізм впливу підвищення ступеня подрібнення “ожирненої” вугільної шихти на характеристики міцності коксу (дробимість  $M_{25}$ , стираність  $M_{10}$ ), який полягає у тому, що збільшення питомої поверхні вугільних часток призводить до зменшення величини плинності пластичної маси та, відповідно, збільшення її в'язкості, збільшення тиску розпору. Це обумовлює більш повне використання в якості пластифікаторів продуктів, які утворюються при де-

струкції органічної маси вугілля, утворення всередині зерна додаткових рідинних продуктів та поліпшення умов контактування складових вугільної шихти, що підвищує міцність коксу.

4. Науково обгрунтована необхідність оцінювання ступеня змішування вугільної шихти не тільки за показниками технічного аналізу і ситового складу шихти, а й за її петрографічними характеристиками, зокрема вмістом вітриніту та суми фюзенізованих компонентів. Доведено, що ступінь змішування за цими показниками повинен дорівнювати не менше 98 %.

### **Практичне значення отриманих результатів**

1. Розроблені практичні рекомендації щодо застосування хлориду магнію для обробки вугільної сировини, що дозволяє ефективно запобігати змерзанню вугільних концентратів та забезпечувати їхню сипкість при транспортуванні в зимовий період.

2. Розроблена та впроваджена методика визначення коефіцієнта оптимальності складу вугільної шихти, яка передбачає використання в якості параметрів даних рефлектограм розподілення вітринітової складової за стадіями метаморфізму, що дозволило здійснювати оцінку оптимальності складу вугільної шихти для коксування і прогнозувати механічну міцність коксу в умовах коксохімічного виробництва (КХВ) ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” (“АМКР”).

3. Розроблено спосіб зменшення вологості вугілля в силосі за допомогою осмосу та вакууму, що дозволяє знизити вологість вугілля до оптимальної за технологічними умовами величини та підвищити якість коксу за рахунок збільшення насипної густини вугільної шихти.

4. Розроблено і впроваджено в умовах вуглепідготовчого цеху (ВПЦ) КХВ ПАТ “АМКР” методику визначення оптимального ступеня подрібнення типових та “ожирених” шихт з урахуванням їх петрографічного складу та рефлектограм вітриніту.

5. Основні теоретичні положення та експериментальні дані, викладені в дисертації, використовуються у навчальному процесі на кафедрах хімічних технологій палива та вуглецевих матеріалів Криворізького металургійного інституту Національної металургійної академії України, хімічної технології переробки нафти і газу НУ “Львівська політехніка“, технології переробки нафти, газу і твердого палива НТУ “ХПІ“.

**Особистий внесок дисертанта.** Наведені в дисертації теоретичні дослідження, обробка, узагальнення та аналіз отриманих результатів виконані автором самостійно. Дисертант особисто здійснював відбір і підготовку проб, проводив лабораторні дослідження властивостей та ступеня змерзання вугільної сировини, обробку результатів дослідно-промислових ящиків коксувань. Формулювання мети, об’єкта, завдань і методів досліджень, а також обговорення отриманих результатів виконано разом з науковим керівником. В опублікованих спільно зі співавторами працях особистий внесок здобувача полягає: у визначенні оптимальних кількостей хімічних реагентів залежно від гранулометричного складу вугільних концентратів для запобігання їх змерзання, лабораторних дослідженнях залежності температури і ступеня змерзання від гранулометричного складу вугілля [1–4]; у визначенні гранулометричного складу і насипної густини вугільних шихт для коксування, а також аналізуванні впливу технології підготовки вугільних шихт на спікливість шихти [5, 13, 14]; в дослідженні впливу сировинних і технологічних факторів на міцність коксу та розподіл його за класами крупності [8, 9]; в обгрунтуванні методики визначення оптимального ступеня

подрібнення шихт з урахуванням петрографічних характеристик вугільних концентратів [6, 10, 11]; в обґрунтуванні методики визначення коефіцієнта оптимальності з урахуванням результатів петрографічного аналізу для здійснення оперативної оцінки складу шихти для коксування та прогнозування механічної міцності коксу [7, 12].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення роботи викладено у формі доповідей на науково-практичних конференціях, зокрема: міжнародних науково-технічних конференціях “Університетська наука” (Україна, м. Маріуполь, 2013, 2014, 2015, 2016); IX, X, XI міжнародних конференціях “Стратегія якості в промисловості та освіті” (Болгарія, м. Варна, 2013, 2014, 2015); міжнародних науково-технічних конференціях “Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості: досягнення, проблеми та перспективи розвитку”, (Україна, м. Кривий Ріг, 2014, 2015); міжнародній науково-технічній конференції “Розвиток промисловості та суспільства”, (Україна, м. Кривий Ріг, 2016); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, спеціалістів, аспірантів “Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика”, (Україна, м. Маріуполь, 2015); XIII, XIV Всеукраїнських науково-практичних конференціях “Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра”, (Україна, м. Київ 2015, 2016); міжнародній конференції “Сучасна металургія: проблеми, завдання, рішення. Наука і виробництво”, (Україна, м. Дніпропетровськ, 2015).

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 14 робіт, у тому числі: 2 – статті в спеціалізованих наукових виданнях України, 7 – у закордонних виданнях, що включені до міжнародної науково-метричної бази Scopus, та 5 – патенти України. Всі публікації містять результати безпосередньої роботи автора на окремих етапах досліджень і відображають основні положення і висновки дисертаційної роботи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти основних розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків, налічує 169 сторінок, 49 рисунків, 43 таблиці та бібліографічний список із 161 джерела.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі дослідження. Висвітлені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, охарактеризовано особистий внесок здобувача, наведені дані щодо апробації результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** наведено критичний огляд досліджень впливу характеристик вугільної сировини (речовинного складу, спікливості, петрографічних характеристик, хімічного складу мінеральної частини вугілля), технології її підготовки та коксування на формування основних властивостей доменного коксу.

Показано, що одним з невирішених аспектів, що значно ускладнюють технологію підготовки вугілля до коксування та роботу вуглепідготовчих цехів у зимовий період, є змерзання вугільної сировини при її транспортуванні.

Встановлено, що в сучасних умовах одним з основних напрямів поліпшення якісних характеристик коксу є вдосконалення технології підготовки вугілля до коксування, яке повинно носити комплексний характер, що передбачає розробку заходів для боротьби зі змерзанням вугільних концентратів, оптимізацію складу вугільної шихти та вибір оптимального ступеня подрібнення з урахуванням перш за все петрографічних характеристик її компонентів.

В другому розділі сформульовано та обґрунтовано вибір об'єкту та предмету дослідження. Показано, що міжбасейнова сировинна база зумовлена підвищенням вимог до якості доменного коксу, дефіцитом українського коксівного вугілля необхідних технологічних параметрів (низькосірчисте вугілля з індексом основності  $I_0 \leq 2,5$ ) та збільшенням частки імпортного вугілля. Доведено, що відмінності технологічних властивостей і речовинного складу імпортного і вітчизняного вугілля, зумовлюють необхідність уточнення та комплексного вдосконалення основних технологічних прийомів підготовки шихт з їх участю.

Розглянуто основні стандартизовані методи визначення технологічних властивостей вугілля та вугільних шихт (гранулометричного складу, технічного аналізу), органічної і мінеральної частин вугілля (петрографічного аналізу, хімічного складу золи). Вивчення якісних характеристик коксу проводили з використанням фізико-механічних і термохімічних методів дослідження параметрів: гранулометричного складу, дробимості ( $M_{25}$ ), стираності ( $M_{10}$ ), реакційної здатності (CRI), післяреакційної міцності (CSR). Крім зазначених, використовували спеціальні методики для визначення спікливості, плинності пластичної маси за Гізелером, тиску розпору, ступеня змерзання вугілля, проведення дослідно-промислових коксувань.

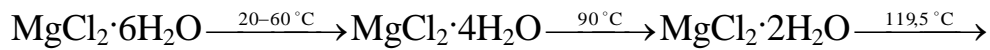
У третьому розділі доведено, що обробка вугільних концентратів хімічними реагентами може надійно запобігати їх змерзання в зимовий період при доставці від ЦЗФ до коксохімічних виробництв, особливо коли вони належать до однієї компанії, що запобігає ускладненню технологічного процесу підготовки вугільної шихти до коксування. В розділі виконані дослідження, спрямовані на пошук ефективного засобу, вивчення особливостей його застосування та визначення оптимальної його витрати для профілактики змерзання вугільної сировини. Дослідження проводили з розчинами солей карбонових кислот, хлориду кальцію і хлориду магнію.

Встановлено, що використання хлориду магнію дозволяє зберегти сипкість вугілля при зниженні температури навколишнього середовища навіть до мінус 18 °С. Кількість доданого хлориду магнію при лабораторних дослідженнях змінювали від 1 до 5 % від маси вугілля. Використовували вугільний концентрат К+КЖ ЦЗФ "Східна" фракції 0–3 мм з вологістю 12 % (табл.1).

Таблиця 1

Температура змерзання вугілля, обробленого хлоридом магнію		
Витрата хлориду магнію, %	Розрахункова температура змерзання розчину хлориду магнію, °С	Температура змерзання вугілля, обробленого хлоридом магнію, °С
1,0	-7,3	-4
2,0	-11,6	-8
3,0	-14,6	-10
4,0	-16,3	-16
5,0	-19,3	-18

Спосіб запобігання змерзання при використанні хлоридів металів заснований на тому, що міжкускова волога заміщується розчином з низькою евтектичною точкою замерзання. Лід, який при цьому утворюється, характеризується дефектною лускатою структурою і в результаті цього – невеликою механічною міцністю. Розкладання хлориду магнію при високих температурах йде без виділення вільного хлору:



Були проведені дослідження з визначення максимальної гігроскопічності ( $W^{\text{ri}}$ ) і максимальної вологоємності ( $W_{\text{max}}$ ) вугілля різних фракцій. Гігроскопічну вологість визначали згідно ГОСТ 8719–90, максимальну вологоємність – за ГОСТ 8858–93. Дані експериментів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

## Залежність вологості від гранулометричного складу вугілля

Клас крупності, мм	Максимальна гігроскопічність $W^{\text{ri}}$ , %	Максимальна вологоємність $W_{\text{max}}$ , %
<0,5	4,2	4,6–5,6
0–3	4,0	2,7–3,3
3–7	3,8	2,6–3,1
7–15	3,9	1,9–2,3
>15	3,9	1,6–2,0

Для дослідження залежності ступеня змерзання вугілля від його гранулометричного складу використовували одне й те ж вугілля, розсіявши його на класи: 0–3; 3–7; 7–15 та >15 мм. Вологість вугілля становила 6, 10 та 12 %.

Досліди по змерзання вугілля проводили в металевих формах діаметром 150 мм і висотою 150 мм. Зразки витримувались в морозильній камері протягом 2 діб. Потім пробу діставали і визначали ступінь змерзання вугілля при температурах мінус 5, 10 і 15 °С як відношення вугілля, яке висипалося, до загальної маси вугілля, взятого для досліді (рис.1–3).

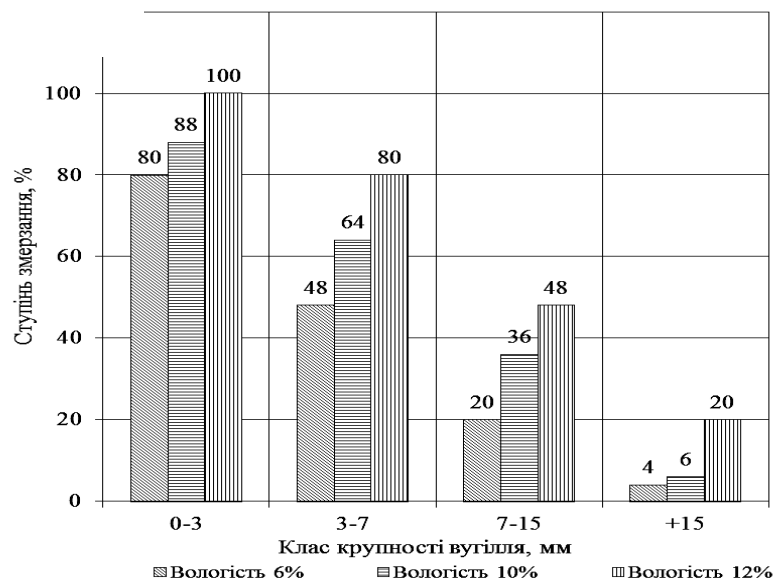


Рис. 1 – Залежність ступеня змерзання вугілля від його гранулометричного складу при температурі мінус 5 °С





Рис. 2 – Залежність ступеня змерзання вугілля від його гранулометричного складу при температурі мінус 10 °С

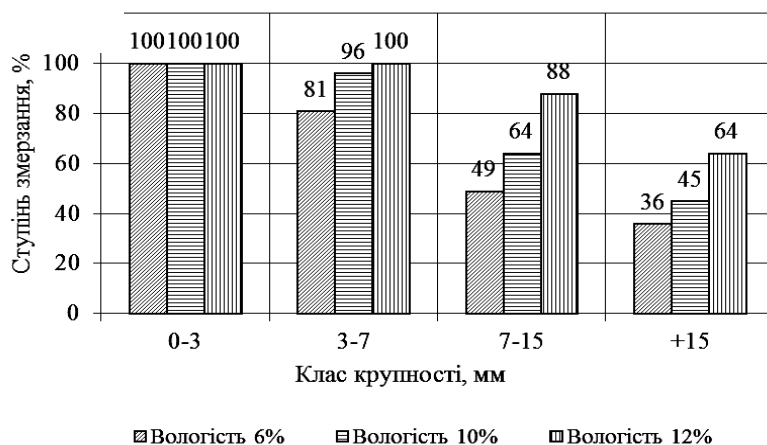


Рис. 3 – Залежність ступеня змерзання вугілля від його гранулометричного складу при температурі мінус 15 °С

Встановлено, що максимальна гігроскопічність практично не залежить від крупності вугілля, а максимальна вологоємність змінюється досить істотно; дрібні класи утримують більше вологи, ніж крупні, що й обумовлює їх більшу схильність до змерзання; зі зниженням температури ступінь змерзання вугілля збільшується з підвищенням його вологості і зменшенням крупності частинок.

Для визначення кількісного впливу вмісту дрібних класів на змерзання вугілля були підготовлені суміші, що містять різну кількість класу 0–3 мм (табл. 3).

Таблиця 3

Масовий склад зразків для дослідження

№ зразка вугільної суміші	Склад суміші, %	Фракція, мм	№ зразка вугільної суміші	Склад суміші, %	Фракція, мм
1	25	0–3	3	75	0–3
	25	3–7		25	3–7
	50	>7		0	>7
2	50	0–3	4	75	0–3
	25	3–7		0	3–7
	25	>7		25	>7

Результати експерименту наведені в табл.4.

Таблиця 4

Залежність витрати хлоридів кальцію і магнію  
від вмісту в зразку вугільної суміші класу 0–3 мм

№ зразка вугільної суміші	Витрата хлоридів, г/кг вугілля					
	CaCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>
	Температура -5 °С		Температура -10 °С		Температура -15 °С	
1	7,0	3,8	10,3	7,0	14,0	12,0
2	7,5	4,8	12,0	8,3	15,5	13,5
3	8,5	5,8	13,8	9,5	17,0	14,5
4	8,0	5,0	13,0	8,7	16,5	13,7

З даних таблиці 4 видно, що зі збільшенням крупності частинок вугілля знижується витрата профілактичного засобу. Необхідно також відзначити, що при зниженні температури від мінус 5 до мінус 15 °С для всіх фракцій вугілля витрата хлориду кальцію збільшилася практично вдвічі. На підставі результатів досліджень рекомендується добавка хлориду магнію, яка зменшує температуру змерзання частинок вугілля до мінус 16–18 °С, а оскільки температура повітря в Україні в зимовий період рідко сягає мінус 20 °С, то при транспортуванні вугілля споживачам в межах країни найбільш доцільна добавка хлориду магнію в кількості 2,5 %; при цьому рівномірність розподілення хлориду магнію у вугіллі повинна бути не нижче 96–98 %.

В четвертому розділі пропонується для оптимізації складу вугільної шихти методика, де в якості критерію оптимальності марочного складу і, відповідно, поліпшення якості коксу, виступає максимально можливе значення коефіцієнта  $K_{\text{опт}(Vt)}$ , який залежить від петрографічного складу вугільної шихти і стадії метаморфізму вугілля, яке її складає. Так, при формуванні коксівної шихти з врахуванням її марочного складу, рекомендується розраховувати коефіцієнт оптимальності як добуток коефіцієнтів оптимальності за чотирма параметрами:

$$K_{\text{опт}(Vt)} = 100 \cdot (K_{\Gamma} \cdot K_{\text{ж}} \cdot K_{\text{к}} \cdot K_{\text{пс}}), \% , \quad (2)$$

де  $K_{\Gamma}$  – коефіцієнт оптимальності вмісту складових вітриніту з величиною показника відбиття 0,65–0,89 %, тобто відповідних марці  $\Gamma$ :

$$K_{\Gamma} = [100 - (\sum Vt_{R_0=0,65 \div 0,89} - X_{\Gamma})] / 100; \quad (3)$$

$K_{\text{ж}}$  – коефіцієнт оптимальності вмісту складових вітриніту з величиною показника відбиття 0,9–1,19 %, тобто відповідних марці  $\text{Ж}$ :

$$K_{\text{ж}} = [100 - (\sum Vt_{R_0=0,9 \div 1,19} - X_{\text{ж}})] / 100; \quad (4)$$

$K_{\text{к}}$  – коефіцієнт оптимальності вмісту складових вітриніту з величиною показника відбиття 1,2–1,39 %, тобто відповідних марці  $\text{К}$ :

$$K_{\text{к}} = [100 - (\sum Vt_{R_0=1,2 \div 1,39} - X_{\text{к}})] / 100; \quad (5)$$

$K_{nc}$  – коефіцієнт оптимальності вмісту складових вітриніту з величиною показника відбиття 1,4–1,69 %, тобто відповідних марці ПС:

$$K_{nc} = [100 - (\sum Vt_{R_0=1,4+1,69} - X_{nc})]/100. \quad (6)$$

В рівняннях (2–6) величини  $X_{\Gamma}$ ,  $X_{\text{ж}}$ ,  $X_{\text{к}}$  та  $X_{nc}$  – це коефіцієнти, що характеризують базовий вміст вугілля різних марок при оптимізації марочного складу вугільної шихти, значення яких визначають за результатами петрографічного аналізу вугільних концентратів, виходячи з періоду отримання коксу високої якості на конкретному коксохімічному підприємстві, яке не може бути загальним для всіх цехів і заводів.

При розрахунку коефіцієнта оптимальності марочного складу шихти за розробленою методикою, у відповідності з фактичним марочним складом шихти, визначеним за рефлектограмою вітринітової складової в період отримання найбільш якісного коксу, в умовах КХВ ПАТ “АМКР” визначили значення коефіцієнтів  $X_{\Gamma}$ ,  $X_{\text{ж}}$ ,  $X_{\text{к}}$  та  $X_{nc}$ , відповідно, рівними 14, 65, 14 і 7. Коефіцієнт оптимальності марочного складу вугільної шихти у розглянутий період, визначений за наведеною методикою, склав 97 %.

Розрахунки коефіцієнта  $K_{opt(Vt)}$  вугільної шихти з урахуванням фактичного її марочного складу, що визначається з параметрів петрографічного аналізу, дозволили встановити тісний взаємозв'язок механічної міцності коксу за  $M_{25}$  з показником  $K_{opt(Vt)}$  шихти (рис. 4).

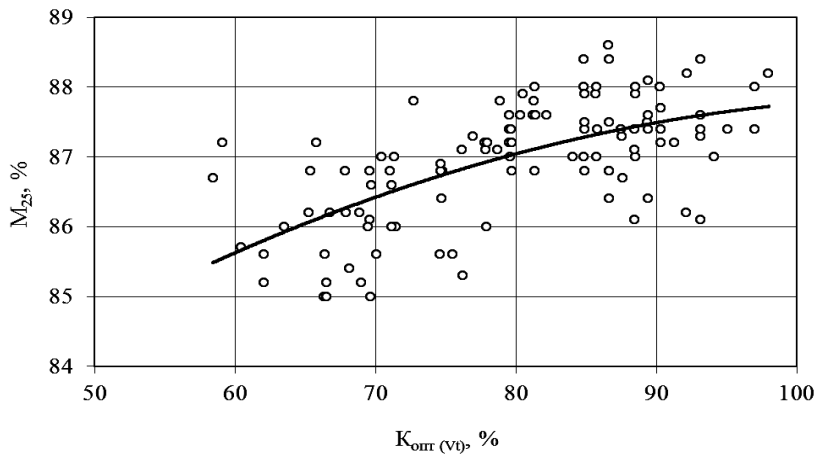


Рис. 4 – Залежність механічної міцності коксу від  $K_{opt(Vt)}$

Отримана залежність механічної міцності коксу від  $K_{opt(Vt)}$  характеризується рівнянням:

$$M_{25} = -0,0009(K_{opt(Vt)})^2 + 0,1933K_{opt(Vt)} + 77,177, \quad r = 0,64. \quad (7)$$

Спосіб підготовки шихти для коксування дозволяє отримувати якість коксу при змінах марочного складу вихідної шихти не гірше  $M_{25} = 88,3 \%$  і  $M_{10} = 7,3 \%$ .

Комплексним показником ефективності технології підготовки є насипна густина вугільної шихти. Для аналізу спільного впливу на величину насипної густини шихти зростання вологості, зольності, гранулометричного складу шихти (за вмістом класів 0–3 мм та 0–0,5 мм) були відібрані проби вугільної шихти у ВПЦ КХВ ПАТ “АМКР”.

На підставі кореляційного аналізу отримане регресійне рівняння залежності насипної густини вугільної шихти від зазначених технологічних факторів:

$$BD^f = 1,16 - 0,00174 \cdot W + 0,000553 \cdot \gamma_{(0-0,5 \text{ мм})} - 0,00423 \cdot \gamma_{(0-3 \text{ мм})} - 0,00274 \cdot A^d \quad (8)$$

Коефіцієнт детермінації  $D = 92 \%$ ; коефіцієнт кореляції  $r = 0,959$ .

На підставі даних промислових випробувань на КХВ ПАТ “АМКР” та багатофакторного кореляційного аналізу залежностей показників  $M_{25}$  і  $M_{10}$  від насипної густини вугільної шихти були отримані регресійні рівняння та статистичні оцінки:

$$M_{25} = -32,9939 + 149,4599 \cdot BD^f \quad D = 72,4 \%, r = 0,85, \quad (9)$$

$$M_{10} = 44,46453 - 46,067 \cdot BD^f \quad D = 65,0 \%, r = 0,81. \quad (10)$$

Показано, що при зменшенні насипної густини вугільної шихти відбувається зниження міцності коксу і зростає його стиранисть, що збільшує питому витрату коксу та значно ускладнює роботу доменних печей.

Для збільшення насипної густини вугільної шихти в розділі пропонується спосіб електроосмотичного зневоднення, здійснення якого полягає у зневодненні вугілля безпосередньо в силосі вуглепідготовчого цеху за допомогою осмосу (рис. 5). Для цього на внутрішній поверхні стінки силосу 1 розташовують ряд електродів 2, які виготовлені у вигляді кільцевих пластин, підключених до позитивних полюсів джерел струму 3. В центральній частині силосу 1 для відведення води розташовують перфоровану трубу 4, підключену до від’ємних полюсів тих же джерел струму 3. Напругу, яка подається на кільцеві пластини 2 від джерел струму 3, збільшують від верхніх пластин до нижніх, наприклад, від 12 до 24 вольт. Для прискорення руху вологи від шару вугілля, розташованого на периферії силосу 1, до шару вугілля, що знаходиться в його центрі, та для її поглинання і відведення у перфоровану трубу 4 в ній створюють розрідження за допомогою вакуумного насосу 5. Запропонований спосіб підготовки вугільної шихти для коксування дозволяє знизити вологість вугілля від фактичної до оптимальної, підвищити якість коксу за рахунок збільшення насипної густини шихти.

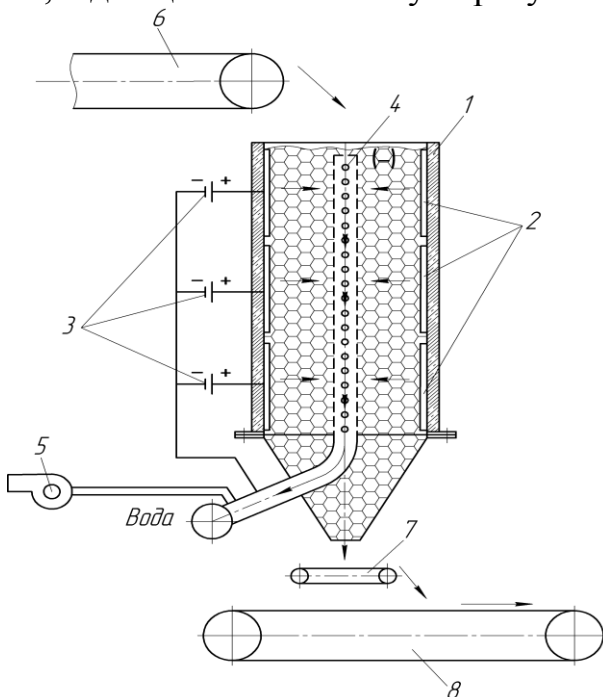


Рис. 5 – Силос закритого вугільного складу:  
1 – стінки силосу, 2 – кільцеві пластини (електроди), 3 – джерела струму, 4 – перфорована труба, 5 – вакуумний насос, 6, 8 – конвеєри, 7 – дозатор

Також для підвищення насипної густини рекомендована добавка 0,1 % деароматизованого гасу, що дозволяє підвищити якість коксу за рахунок збільшення насипної гу-

стини вугільної шихти, виключивши негативний вплив специфічного запаху технічного газу на персонал коксохімічного підприємства.

Важливим аспектом технології підготовки вугілля до коксування є вибір оптимального рівню подрібнення шихти. Вирішення поставленої задачі досягається при визначенні оптимальної ступеня подрібнення з урахуванням петрографічного складу та спікливості шихти. В розділі пропонується спосіб, відповідно до якого критерій для розрахунку оптимального ступеня подрібнення враховує розподіл вітринітової складової за стадіями метаморфізму та кількість фюзенізованих компонентів вугільної шихти. Ступінь подрібнення вугільної шихти в залежності від її петрографічних характеристик і спікливості може бути визначений за рівнянням:

$$k = \frac{75 \cdot V_t \cdot \frac{\sum(0,9 - 1,39)}{100} + 90 \cdot V_t \cdot \frac{\sum(0,5 - 0,89) + \sum(1,4 - 2,6)}{100} + 90 \cdot \sum OK}{100}, \% \quad (11)$$

де  $k$  – оптимальний ступінь подрібнення вугільної шихти, %; 75 – рекомендований рівень подрібнення вугілля марок Ж і К, %; 90 – те ж, вугілля марок Г, ПС, П, %;  $V_t$  – вміст мацералів групи вітриніту, %;  $\sum(0,5-2,6)$  – вміст складових вітриніту з величиною показника відбиття 0,5–2,6 %;  $\sum OK$  – сума фюзенізованих компонентів, %.

До числа недостатньо досліджених відноситься проблема вибору оптимального ступеня подрібнення вугільної шихти з дуже високим вмістом жирного вугілля. В шихті для коксування КХВ ПАТ “АМКР”, згідно з петрографічним аналізом, вміст вугілля марки Ж змінювався в діапазоні від 56 до 89 %. Був виконаний аналіз впливу вмісту вугілля марки Ж та ступеню подрібнення на якість коксу (рис. 8, 9).

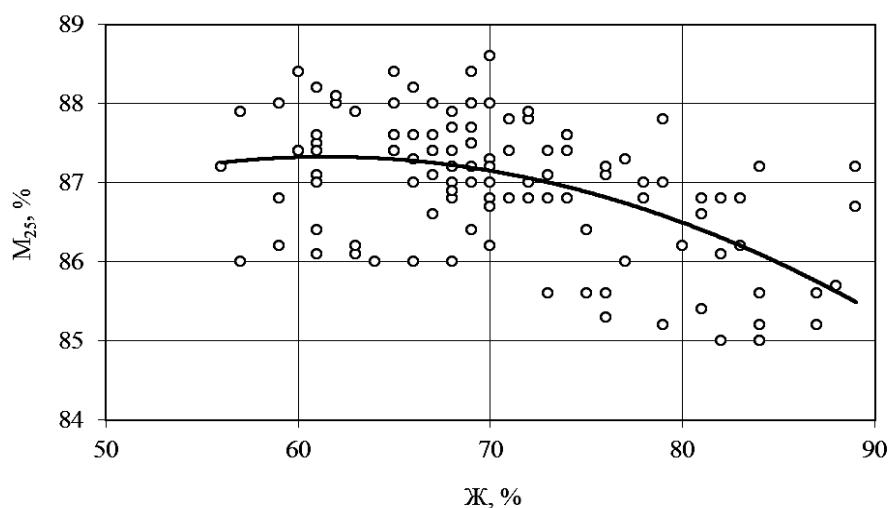


Рис. 8 – Залежність показника міцності коксу  $M_{25}$  від вмісту в шихті вугілля марки Ж

З рисунка 8 слідує, що при зміні ступеня подрібнення шихти в діапазоні від 76 до 89 % збільшення в шихті вугілля марки Ж більше 60–70 % призводить до зниження показника міцності коксу  $M_{25}$ .

У той же час, якщо проаналізувати залежність показника міцності коксу  $M_{25}$  від ступеня подрібнення шихти у вказаному діапазоні (рис. 9) вмісту в шихті вугілля

марки Ж 70–89 %, то видно, що міцність коксу зростає зі збільшенням ступеня подрібнення шихти.

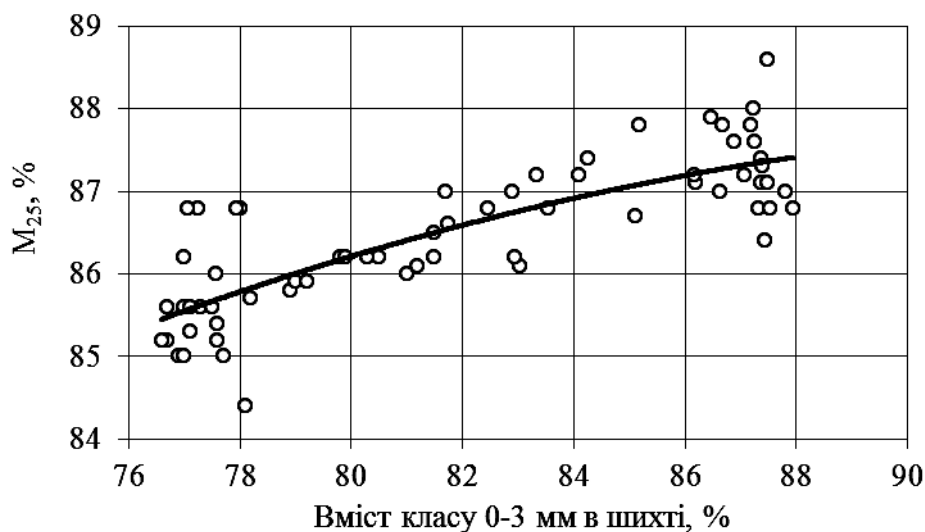


Рис. 9 – Залежність показника міцності коксу  $M_{25}$  від ступеня подрібнення шихти при вмісті вугілля марки Ж 70–89 %

Отримана залежність показника міцності коксу  $M_{25}$  від ступеня подрібнення шихти при вмісті вугілля марки Ж 70–89 % описується рівнянням:

$$M_{25} = -0,0099 \cdot \gamma_{(3-0\text{мм})}^2 + 1,7912 \cdot \gamma_{(3-0\text{мм})} + 6,1057 \quad D = 64,8 \%, \quad r = 0,8. \quad (12)$$

За даними рис. 10 видно, що і у виробничих умовах при високій жирності шихти її “самоопіснення” призводить до поліпшення якості коксу.

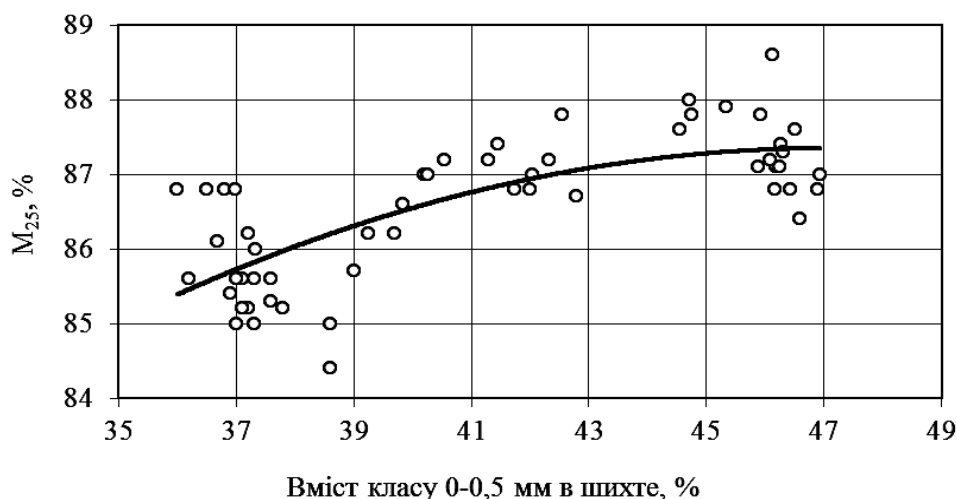


Рис. 10 – Залежність показника міцності коксу  $M_{25}$  від вмісту класу  $<0,5$  мм в шихті при вмісті в ній вугілля Ж 70–89 %

Встановлено, що підвищення вмісту в шихті “опіснюючого” класу 0–0,5 мм від 37 до 47 % у середньому призводить до підвищення  $M_{25}$  с 85,6 до 87,3 %. Отримана залежність показника міцності коксу  $M_{25}$  від вмісту класу 0–0,5 мм в шихті при вмісті в ній вугілля Ж 70–89 % описується рівнянням:

$$M_{25} = -0,0159 \cdot \gamma_{(0-0,5 \text{ мм})}^2 + 1,502 \gamma_{(0-0,5 \text{ мм})} + 51,986, D= 53,8 \%, r = 0,73 \quad (13)$$

З метою підвищення якості коксу за рахунок вдосконалення способу підготовки вугільної шихти для коксування актуальною є можливість визначення оптимального ступеню подрібнення вугільної шихти в залежності від її фактичного складу при збільшенні в шихті вмісту вугілля марки Ж понад 70 %.

Так, оптимальний ступінь подрібнення рекомендується визначати в залежності від петрографічного складу та спікливості шихти за рівнянням:

$$k = \frac{(75 + X) \cdot V_t \cdot \frac{\Sigma(0,9 - 1,19)}{100} + 75 \cdot V_t \cdot \frac{\Sigma(1,2 - 1,39)}{100} + 90 \cdot V_t \cdot \frac{\Sigma(0,5 - 0,89) + \Sigma(1,4 - 2,59)}{100} + 90 \cdot \Sigma OK}{100}, \quad (14)$$

де  $k$  – оптимальний ступінь подрібнення шихти, %;  $\Sigma(0,5 \div 2,59)$  – вміст складових вітриниту з показником відбиття 0,5–2,59;  $V_t$  – вміст мацералів групи вітриніту, %; 75 – рекомендований рівень подрібнення вугілля марки К і Ж, % при вмісті марки Ж  $\leq 70$  %; 90 – те ж, для вугілля марок Г, ПС, П, %;  $X = \Delta[\Sigma(0,9 - 1,19)] \cdot 0,7$ , %/% – збільшення ступеню подрібнення на 0,7 %, на кожен 1 % збільшення вмісту в шихті вугілля марки Ж понад 70 % (за даними рефлекторами).

Для дослідження механізму поліпшення механічної міцності доменного коксу, отриманого з вугільних шихт з вмістом в них менше та більше 70 % жирного вугілля при підвищенні ступеню її (шихти) подрібнення, що виражається в зростанні вмісту вугільних частинок крупністю 0–3 мм від  $\sim 80$  до  $\sim 90$  %, використовували вугільні концентрати різних марок, які складають сучасну сировинну базу коксохімічних підприємств України, зокрема: газове вугілля компанії “ТАЛТЕК” (РФ), жирне вугілля ЦЗФ “Київська” (Україна), вугілля марки “КСН” розрізу “Черкасів камінь” (РФ) та коксове вугілля ш. “Калинівська Східна” (Україна). Вугілля, яке досліджувалося, умовно ділиться на дві групи: до першої групи можна віднести газове вугілля компанії “ТАЛТЕК” та розрізу “Черкасів камінь”, що характеризуються підвищеними значеннями вмісту фюзенізованих компонентів (27–43 %) при невисоких показниках спікливості (10–14 мм) і коефіцієнті розмолздатності за Хардгровим (53–67 од.); до другої групи можна віднести проби жирного вугілля ЦЗФ “Київська” та коксового вугілля ш. “Калинівська Східна”. Це вугілля є петрографічно однорідним ( $\Sigma OK < 25$  %) з підвищеною спікливістю (16–22 мм), значення їх коефіцієнтів розмолздатності за Хардгровим складають 76–98 од. В таблиці 8 наведено марочний та компонентний склади дослідних вугільних шихт.

Таблиця 8

## Марочний та компонентний склади вугільних шихт

Компонент, країна	Марка	Участь у шихті, %	
		Вар. 1–3	Вар. 4,5
“Талтек”, РФ	Г	35	15
ЦЗФ “Київська”, Україна, проба №1	Ж	42	–
ЦЗФ “Київська”, Україна, проба №2	Ж	–	80
ш. “Калинівська Східна”, Україна, проба №1	К	10	–
ш. “Калинівська Східна”, Україна, проба №2	К	–	5
Розріз “Черкасів камінь”, РФ	КСН	13	–
Всього		100	100

Складені дослідні шихти були подрібнені за схемою ДШ (дроблення шихти). Вміст класу 0–3 мм в варіантах 1–3 коливався від 82,7 до 90,3 %, а в варіантах 4 і 5 від 81,0 до 90,0 %. Для більш глибокої оцінки впливу ступеню подрібнення на механічну міцність отриманого коксу були визначені величини тиску розпору та пластичних властивостей вугільних шихт за Гізелером (табл. 9).

Збільшення вмісту класу 0–3 мм з 82,7 до 90,3 % у першій серії шихт (вар. 1–3) призвело до деякого збільшення текучості пластичної маси (з 100 до 125 ddpm), що може бути зумовлено більш рівномірним розподіленням петрографічно неоднорідних частинок вугільних концентратів “ТАЛТЕК” та розрізу “Черкасів камінь” в масиві шихти.

Таблиця 9

## Технологічні властивості дослідних вугільних шихт

Варіант шихти	Технічний аналіз, %			Пластометричні характеристики, мм		Тиск розпору, кПа	Пластичні властивості за Гізелером				
	A <sup>d</sup>	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	x	y	P <sup>h</sup> <sub>max</sub>	t <sub>1</sub> , °C	t <sub>max</sub> , °C	t <sub>3</sub> , °C	Δt, °C	F <sub>max</sub> , ddpm
1	8,7	1,07	31,7	35	16	3,4	421	451	480	59	100
2	8,8	1,06	31,6	31	15	3,5	421	457	481	60	119
3	8,8	1,06	31,5	32	15	3,7	425	456	484	59	125
4	8,4	1,41	31,3	29	20	4,2	408	447	480	72	335
5	8,4	1,41	31,3	29	20	7,4	414	447	480	66	135

Тиск розпору при цьому має тенденцію до збільшення (з 3,4 до 3,7 кПа), що може бути пояснено збільшенням кількості парогазової фази і, відповідно, її тиском на пластичний шар. При збільшенні помелу у другій серії (вар. 4 і 5) вугільних шихт відбулося зменшення величини плинності пластичної маси з 335 до 135 ddpm, та, відповідно, збільшення її в'язкості практично на аналогічну величину.

Отже, підвищення ступеня подрібнення “ожирених” вугільних шихт призводить до збільшення питомої поверхні вугільних частинок, посилює адсорбцію вугіллям кисню, прискорює евакуацію парогазової фази та гальмує протікання відновлювальних процесів. В результаті все це підвищує в'язкість вугілля в пластичному стані.

Проаналізувавши ступінь змішування вугільної шихти після її подрібнення в умовах вуглепідготовчого цеху, встановили, що вона потребує додаткового змішування перед подачею її в коксову камеру. Так, визначили, що ступінь змішування за показником зольності складає 43–47 %, за товщиною пластичного шару дорівнює 67–70 %, а за показником насипної густини шихти – 68–72,4 %, і тільки за вмістом сірки становить – 92,3–96 %, що пояснюється незначним коливанням вмісту сірки у вугільній шихті. Низький ступінь змішування шихти – 19,3–22 % отримали для “опіснюючого” класу 0–0,5 мм. Ступінь змішування шихти за показниками її петрографічного складу для вітриніту і суми фюзенізованих компонентів дорівнюють відповідно 87,7–91,5 і 86–90,2 %, що однак недостатньо для оптимального, економічно виправданого ступеня змішування.

В розділі рекомендовано здійснювати змішування компонентів вугільної шихти за всіма її показниками (зольність, товщина пластичного шару, насипна густина, вміст класу 0–0,5 мм, вміст сірки, вміст вітриніту та сума фюзенізованих компонентів) до



ступеня 98–99 %, використовуючи роторний чотирьохсекційний змішувач, оскільки нерівномірний розподіл їх у коксовій камері негативно позначається на якості коксу.

У **п'ятому розділі** наведені результати ящикових коксувань дослідних вугільних шихт. Дослідні вугільні шихти були завантажені в залізні ящики (супутники) розміром 200 x 200 x 300 мм, по 3 ящика на кожен варіант. Насипна густина для вугільних шихт всіх варіантів становила 800 кг/м<sup>3</sup>, період коксування – 22,00 години, фактична температура в контрольних вертикалах: з машинної сторони – 1167 °С, з коксової сторони – 1174 °С. Після коксування супутники були погашені, розкриті, кокс був висипаний на дека та висушений в сушильній шафі до постійної ваги. В табл.10 наведені показники якості отриманих дослідних коксів.

Таблиця 10

Показники якості отриманих дослідних коксів

Варіант шихти	Вихід коксу, %	Технічний аналіз, %			Механічна міцність, %	
		$V_k$	$A^d$	$S_t^d$	$V^{daf}$	$\Pi_{25}$
1	74,5	11,7	0,90	0,1	90,9	7,7
2	74,6	11,8	0,89	0,2	91,3	7,6
3	74,5	11,7	0,87	0,1	91,5	7,5
4	74,8	11,2	1,19	0,3	89,3	8,4
5	74,9	11,3	1,21	0,2	91,1	7,6

Дані, наведені у таблиці 10, вказують на те, що при більш тонкому подрібненні вугільних шихт, які містять менше 70 % жирного вугілля (перша серія), вдалося суттєво підвищити механічну міцність отриманого коксу. Так, значення показників дробимості ( $\Pi_{25}$ ) зросли на 0,6–1,3 %, а стираності ( $I_{10}$ ) знизилися на 0,2–1,2 %.

В даному випадку поліпшення механічної міцності досягається зниженням місцевих напружень, які виникають в результаті спікання різних за петрографічним складом і, відповідно, виходом летких речовин, термічною стійкістю та теплофізичними властивостями частинок вугільної шихти.

Аналогічна ситуація спостерігається і при більш тонкому подрібненні вугільної шихти, яка містить більше 70 % жирного вугілля (друга серія): показник дробимості ( $\Pi_{25}$ ) виріс з 89,3 до 91,1 %, а стираності ( $I_{10}$ ) знизився з 8,4 до 7,6 %. Але в даному випадку поліпшення механічної міцності коксу досягається, переважно, за рахунок збільшення тиску розпору вугільної шихти, яке призведе не тільки до більш повного використання продуктів, які утворилися при деструкції як пластифікаторів, але і до утворення всередині зерна додаткових рідинних продуктів з газоподібних.

Запропоновані рекомендації по вдосконаленню технології підготовки вугілля для коксування дозволяють досягти покращення показників його механічної міцності  $M_{25}$  та  $M_{10}$  в сучасних сировинних умовах, особливістю яких є сформована міжбасейнова база коксування, підвищений вміст жирного вугілля у вугільній шихті, а також залучення до її складу концентратів з високим вмістом фюзенізованих компонентів ( $\Sigma OK \geq 18-21$  %).

Для дослідження впливу механічної міцності коксу на техніко-економічні показники доменної плавки проаналізували роботу доменних печей №5–7 (об'ємом 2000 м<sup>3</sup>) та 9 (об'ємом 5000 м<sup>3</sup>) ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” (були вибрані періоди роботи доменних печей, коли ці показники мали максимально відмінні значення). За

результатами розрахунків після приведення до однакових умов роботи печей при зниженні показника стираності коксу  $M_{10}$  на всіх печах зменшується питома витрата коксу, а зменшення показника  $M_{10}$  на 1 % забезпечує зниження середньої питомої витрати коксу на 5,5 %, з ростом показника  $M_{25}$  приведена витрата коксу знизилася на печах №5, 7 та 9. При збільшенні показника  $M_{25}$  на 1 % середня питома витрата коксу знижувалася в середньому на 2,1 %.

## ВИСНОВКИ

1. На підставі отриманих автором теоретичних і експериментальних даних в лабораторних і промислових умовах вирішена актуальна науково-практична задача – розроблені та науково обґрунтовані рекомендації щодо комплексного вдосконалення технології підготовки вугілля для коксування в умовах сучасної сировинної бази України.

2. Обґрунтовано доцільність обробки вугільних концентратів хлоридом магнію, що може надійно запобігати їх змерзання в зимовий період часу при доставці від ЦЗФ до коксохімічних підприємств. Встановлено, що обробка даним реагентом зменшує температуру змерзання частинок вугілля до мінус 16–18 °С. Рекомендована добавка хлориду магнію в кількості 2,5 %; при цьому рівномірність розподілення хлориду магнію у вугіллі має бути не нижче 96–98 %.

3. Уперше розроблені аналітичні залежності визначення оптимального ступеня подрібнення з урахуванням петрографічного складу та спікливості для типових і “ожирених” шихт, що дозволяє утримати якість коксу на рівні  $M_{25}$  88,6–89,3 %, а  $M_{10}$  6,4–7,0 %.

4. Встановлено, що поліпшення механічної міцності коксу при більш тонкому подрібненні “ожиреної” шихти пов’язано зі збільшенням питомої поверхні вугільних частинок, яке призводить до зменшення величини текучості пластичної маси з 335 до 135 ddpm, та, відповідно, до збільшення її в’язкості і збільшення тиску розпирання з 4,2 до 7,4 кПа. Це зумовлює більш повне використання продуктів, які утворилися при деструкції, як пластифікаторів, та поліпшення умов їх контактування.

5. Рекомендовано в умовах погіршення сировинної бази коксування для отримання коксу, що характеризується високою міцністю ( $M_{25}$ ) і стійкістю до стирання ( $M_{10}$ ), вузьким діапазоном гранулометричного складу, через поліпшення спікливої здатності вугільної шихти здійснювати змішування компонентів вугільної шихти за всіма її показниками (зольність, товщина пластичного шару, насипна густина, вміст класу 0–0,5 мм, вміст сірки, вміст вітриніту та сума фюзенізованих компонентів) до ступеня 98–99 %, оскільки нерівномірний розподіл їх у коксовій камері негативно позначається на якості коксу.

6. Розроблено спосіб зменшення вологості вугілля в силосі за допомогою осмосу та вакууму, що дозволяє знизити вологість вугілля від фактичної до оптимальної, підвищити якість коксу за рахунок збільшення насипної густини вугільної шихти.

7. Розроблена методика визначення показника коефіцієнта оптимальності складу вугільної шихти, згідно якої в якості критерію оптимальності марочного складу і, відповідно, поліпшення якості коксу, приймається максимально можливе значення коефіцієнта  $K_{opt(Vt)}$ , який залежить від петрографічного складу вугільної шихти і стадії метаморфізму вугілля, з якого складається шихта з урахуванням результатів петрографічного аналізу.

8. Запропоновано визначати коефіцієнти, які характеризують базовий вміст вугілля різних марок при оптимізації складу вугільної шихти, з урахуванням розподілення вітринітової складової за стадіями метаморфізму та корегувати їх при погіршенні якості коксу за показниками  $M_{25}$  і  $M_{10}$ .

9. Доведено за результатами дослідно-промислових коксувань, що підвищення ступеня подрібнення (збільшення вмісту класу 0–3 мм з 82,7 до 90,3 %) для “ожирнених” вугільних шихт (вміст жирного вугілля більше 70 %) дозволяє підвищити показники механічної міцності коксу. Так, показник дробимості ( $P_{25}$ ) виріс з 89,3 до 91,1 %, а стиранності ( $I_{10}$ ) знизився з 8,4 до 7,6 %.

10. Встановлено, що доцільним є також підвищення ступеня подрібнення вугільних шихт, які містять менше 70 % жирного вугілля, з вмістом фюзенізованих компонентів  $\Sigma OK \geq 18-21$  %. При цьому суттєве підвищення механічної міцності отриманого коксу (значення показників дробимості ( $P_{25}$ ) зросли на 0,6–1,3 %, а стираності ( $I_{10}$ ) знизилися на 0,2–1,2 %) обумовлено більш рівномірним розподіленням петрографічно неоднорідних частинок в масиві шихти та зниженням місцевих напружень, які виникають в результаті спікання різних за петрографічним складом і, відповідно, виходом летких речовин, термічною стійкістю та теплофізичними властивостями частинок вугільної шихти.

11. Встановлено, що в умовах доменних цехів ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”, при зниженні показника  $M_{10}$  на 1 % забезпечується зниження середньої питомої витрати коксу на 5,5 %, а з ростом показника  $M_{25}$  на 1 % середня питома витрата коксу знижувалася в середньому на 2,1 %.

12. Основні теоретичні положення та експериментальні дані, викладені в дисертації, використовуються у навчальному процесі на кафедрах хімічних технологій палива та вуглецевих матеріалів Криворізького металургійного інституту НМетАУ, хімічної технології переробки нафти і газу НУ “Львівська політехніка”, технології переробки нафти, газу і твердого палива НТУ “ХПІ”.

## ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Учитель А.Д. Методы предотвращения смерзания углей при их транспортировке / А.Д. Учитель, М.В. Кормер, Е.О. Шмельцер // Вісник Криворізького національного університету – 2012. – вип.33. – С.109–113.

2. Лялюк В.П. Проблемы транспортировки угольных концентратов в период отрицательных температур окружающей среды / А.Д. Учитель, М.В. Кормер, В.П. Лялюк, Е.О. Шмельцер и др. // Кокс и химия. – 2013. – №5. – С.13–19.

3. Шмельцер Е.О. Об использовании солей карбоновых кислот для предотвращения смерзания угля в зимний период / Е.О. Шмельцер, М.В. Кормер, В.П. Лялюк, А.Д. Учитель, И.А. Ляхова // Кокс и химия. – 2016. – №4. – С.2–7.

4. Кормер М.В. Зависимость температуры смерзания угля от его гранулометрического состава / М.В. Кормер, В.П. Лялюк, А.Д. Учитель, Е.О. Шмельцер, И.А. Ляхова // Кокс и химия. – 2015. – №1. – С.10–15.

5. Шмельцер Е.О. Исследование влияния подготовки угольных шихт на качество металлургического кокса / Е.О. Шмельцер, В.П. Лялюк, В.П. Соколова // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2015. – Вип.30 (Том 1). – С.27–36.

6. Лялюк В.П. Влияние высокого содержания жирных углей в шихте для коксования на качество кокса / В.П. Лялюк, В. П. Соколова, И.А. Ляхова, Д.А. Кассим, Е.О. Шмельцер // Кокс и химия. – 2013. – №3. – С.18–23.

7. Лялюк В.П. Проблемы оптимизации состава угольной шихты / В.П. Лялюк, Д.А. Кассим, И.А. Ляхова, Е.О. Шмельцер // Кокс и химия – 2014. – №1 – С.22–28.

8. Лялюк В.П. Анализ изменения гранулометрического состава кокса на протяжении четверти века на примере бывшего ККХЗ / В.П. Лялюк, Е.О. Шмельцер, И.А. Ляхова, Д.А. Кассим, А.К. Тараканов, П.И. Оторвин // Кокс и химия. – 2013. – № 12. – С.28–33.

9. Лялюк В.П. Влияние свойств сырья и технологии коксования на гранулометрический состав кокса / В.П. Лялюк, Е.О. Шмельцер, И.А. Ляхова, Д.А. Кассим // Кокс и химия. – 2014. – №10. – С.29–35.

10. Патент України, 2013, №85803. Спосіб підготовки вугільної шихти для коксування / Лялюк В.П., Кассим Д.О., Ляхова І.А., Журавльов Ф.М., Шмельцер К.О., Свист Н.Ю.; Опубл. бюл. № 22.

11. Патент України, 2013, № 86120. Спосіб підготовки вугільної шихти для коксування / Лялюк В.П., Кассим Д.О., Ляхова І.А., Журавльов Ф.М., Шмельцер К.О., Свист Н.Ю.; Опубл. бюл. № 23

12. Патент України, 2013, № 86119. Спосіб підготовки вугільної шихти для коксування / Лялюк В.П., Кассим Д.О., Ляхова І.А., Журавльов Ф.М., Шмельцер К.О., Свист Н.Ю.; Опубл. бюл. №23.

13. Патент України, 2015, № 103383. Спосіб підготовки вугільної шихти для коксування / Лялюк В.П., Кассим Д.О., Ляхова І.А., Шмельцер К.О., Свист Н.Ю.; Опубл. бюл. № 23.

14. Патент України, 2016, № 111594. Спосіб електроосмотичного зневоднення вугілля перед коксуванням / Лялюк В.П., Учитель О.Д., Шмельцер К.О., Ляхова І.А., Кассим Д.О., Кормер М.В.; Опубл. бюл. № 21.

## АНОТАЦІЯ

Шмельцер К.О. Обґрунтування вдосконалень технології підготовки вугілля для коксування в умовах сучасної сировинної бази України. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.07 – хімічна технологія палива та паливно-мастильних матеріалів. – Національна металургійна академія України, Дніпро, 2017.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової задачі розвитку теорії і практики комплексного підходу до управління технологією підготовки вугілля для коксування з врахуванням їх петрографічних параметрів і різних кліматичних умов транспортування вугільної сировини для отримання доменного коксу з високими фізико-механічними характеристиками в умовах міжбасейнової сировинної бази коксування.

Для оптимізації роботи вуглепідготовчих цехів обґрунтована доцільність обробки вугільних концентратів хлоридом магнію, що може надійно запобігати їх змерзанням в зимовий період при доставці від ЦЗФ до коксохімічних підприємств. Встановлено, що обробка даним реагентом зменшує температуру змерзання частинок вугілля до мінус 16–18 °С. Рекомендована добавка хлориду магнію в кількості 2,5 %; при цьому рівномірність розподілення хлориду магнію у вугіллі повинна бути не нижче 96–98 %.

Розроблена та впроваджена методика визначення коефіцієнта оптимальності складу вугільної шихти, яка передбачає використання в якості параметрів даних рефлектограм розподілення вітринітової складової за стадіями метаморфізму, тобто визначення фактичного складу шихти, що дозволяє як здійснювати оцінку оптимальності складу шихти для коксування, так і прогнозувати механічну міцність коксу.

На підставі петрографічних характеристик вугільних концентратів розроблені аналітичні залежності визначення оптимального ступеня подрібнення для типових і “ожирених” вугільних шихт з метою підвищення їх якості та поліпшення фізико-механічних властивостей коксу для доменної плавки, що дозволяє утримати його механічну міцність на рівні  $M_{25}$  88,6–89,3 %, а  $M_{10}$  6,4–7,0 %.

Рекомендовано в умовах погіршення сировинної бази коксування для отримання коксу, що характеризується високою міцністю ( $M_{25}$ ) і стійкістю до стирання ( $M_{10}$ ), вузьким діапазоном гранулометричного складу, здійснювати змішування компонентів вугільної шихти за всіма її показниками (зольність, товщина пластичного шару, насипна густина, вміст класу 0–0,5 мм, вміст сірки, вміст вітриніту та сума фюзенизованих компонентів) до ступеня 98–99 %.

**Ключові слова:** вугільний концентрат, шихта, змерзання вугільної сировини, петрографічні характеристики, гранулометричний склад, однорідність вугільної шихти, якість коксу.

## АННОТАЦІЯ

Шмельцер Е.О. Обоснование совершенствований технологии подготовки углей для коксования в условиях современной сырьевой базы Украины. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – химическая технология топлива и горюче-смазочных материалов. – Национальная металлургическая академия Украины, Днепр, 2017.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи, что заключается в развитии теории и практики комплексного подхода к управлению технологией подготовки углей для коксования с учетом их петрографических характеристик и различных климатических условий транспортировки угольного сырья для получения доменного кокса с высокими физико-механическими свойствами в условиях межбассейновой сырьевой базы коксования.

Для оптимизации работы углеподготовительных цехов обоснована целесообразность обработки угольных концентратов хлоридом магния, что может надежно предотвратить их смерзание в зимний период при доставке от ЦОФ до коксохимических предприятий. Установлено, что обработка данным реагентом снижает температуру смерзания частиц угля до минус 16–18 °С. Рекомендована добавка хлорида магния в количестве 2,5 %; при этом равномерность распределения хлорида магния в угле должна быть не ниже 96–98 %.

Разработана и внедрена методика определения коэффициента оптимальности состава угольной шихты, которая предусматривает использование в качестве параметров оптимизации данных рефлектограмм распределения витринитовой составляющей по стадиям метаморфизма, т.е. определение фактического состава шихты, что позволяет, как осуществлять оценку оптимальности состава шихты для коксования, так и прогнозировать качество кокса.

На основании петрографических характеристик угольных концентратов разработаны аналитические зависимости определения оптимальной степени измельчения для типовых и “ожиренных” угольных шихт с целью повышения их качества и улучшения физико-механических свойств кокса для доменной плавки, что позволяет удерживать его механическую прочность на уровне  $M_{25}$  88,6–89,3 %, а  $M_{10}$  6,4–7,0 %.

Рекомендовано в условиях ухудшения сырьевой базы коксования для получения кокса, который характеризуется высокой прочностью ( $M_{25}$ ) и стойкостью к истиранию ( $M_{10}$ ), узким диапазоном гранулометрического состава, осуществлять смешивание компонентов угольной шихты по всем показателям ее качества (зольность, толщина пластического слоя, насыпная плотность, содержание класса 0–0,5 мм, содержание серы, содержание витринита и сумма фюзенизированных компонентов) до степени 98–99 %.

**Ключевые слова:** угольный концентрат, шихта, смерзание угольного сырья, петрографические характеристики, гранулометрический состав, однородность угольной шихты, качество кокса.

## ABSTRACT

Shmeltser E.O. Substantiation of improvement of technologies preparation of coal for coking in the modern resources base of Ukraine. – On the rights of the manuscript.

Dissertation on scientific degree competition of the candidate of technical sciences by specialty 05.17.07 - Chemical technology of fuel and fuel and lubrication materials. – National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, 2017.

Dissertation is devoted to solving actual scientific problem, that is the development of theory and practice of a comprehensive approach to the management of coal preparation technology for coking with based on their petrological characteristics and different climatic conditions of transportation of the raw coal for obtaining blast furnace coke with high physical and mechanical properties in conditions of interbasin resources base of coking.

To optimize the operation of coal preparation plants justified the expediency of processing of coal concentrates by magnesium chloride, which can reliably prevent their freezing together during the winter season in the delivery of CEP to coke plants. It is established, that the treatment of this reagent reduces the freezing temperature of the coals particles to minus 16–18 °C. Recommended addition of magnesium chloride in an amount of 2,5 %; while distribution uniformity of magnesium chloride in the coal should be less than 96–98 %.

Developed and implemented methods of determining of the coefficient of the optimal composition of coal batch, which provides for the use as an optimization parameter data traces of the distribution of vitrinite of at stages of metamorphism, those, determination of the actual composition of the batch, which allows how to realize the evaluation of optimal batch composition for coking, as well predict the quality of the coke.

Based on petrographic characteristics of coal concentrates was developed analytical dependence of determining the optimum degree of grinding for typical and "fatty" coal batch to improve their quality and physical and mechanical properties of coke for blast furnace, which allows keep him mechanical strength on the level  $M_{25}$  88,6–89,3 %, and  $M_{10}$  6,4–7,0 %.

Is recommended in the deteriorating of raw coking base for obtaining coke, which is characterized by high strength ( $M_{25}$ ) and abrasion resistance ( $M_{10}$ ), narrow range of granulometric composition, realize the mixing of the components of the coal batch on all indica-

tors of its quality (ash content, the plastic layer thickness, bulk density, 0–0,5 mm class content, sulfur content, the amount of vitrinite content and fusainized components) to the extent of 98–99 %.

**Keywords:** coal concentrate, batch, freezing together of raw coal, petrographic characteristics, granulometric composition, homogeneity of batch coal, coke quality.

**Шмельцер Катерина Олегівна**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ВДОСКОНАЛЕНЬ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ  
ВУГІЛЛЯ ДЛЯ КОКСУВАННЯ В УМОВАХ СУЧАСНОЇ  
СИРОВИННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ**

Автореферат

дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук

Підписано до друку 22.02.2017.

Формат 64x90/16

Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-видавн. арк. 0,9

Наклад 120 прим. Зам. № 22-02/17

Надруковано з оригіналів замовника.

Видавництво «Діонат» (ФО-П Чернявський Д.О.)

пр. 200 річчя Кривому Рогу, 17, (зуп. «Спаська»),

тел.: (056) 440-21-63; 404-05-92.

Свідоцтво ДК 3449 від 02.04.2009 р.

[www.dionat.com](http://www.dionat.com)