

Державна металургійна академія України

На правах рукопису

ЗЕЛКМАН Владислав Давидович

**АНАЛІЗ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИТРАТ
ПЕРВИСНИХ ЕНЕРГО- ТА СИРОВИННИХ РЕСУРСІВ
ТРАДИЦІЙНОГО ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПРОЦЕСІВ
ВИРОБНИЦТВА ЧАВУНУ ТА СТАЛІ З МЕТОЮ ВИБОРУ
ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ В УМОВАХ
РЕСТРУКТУРІЗАЦІЇ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ УКРАЇНИ**

(спеціальність 05.16.02 "Металургія чорних металів")

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Наукові керівники:

член-кореспондент НАН України, д.т.н., проф. В.І.Баптизманський:

к.т.н., доцент Ю.С.Паніотов.

м. Дніпропетровськ, 1997 р.

Робота виконана на кафедрі металургії сталі
Державна металургійна академія України

Наукові керівники:

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00754131 (L)

член-кореспондент НАН України,
д.т.н., проф. В.І.Баптизмаський;

к.т.н., доцент Ю.С.Паніотов.

Офіційні опоненти:

д.т.н., проф. Івашенко В.П.;

к.т.н., вед. інж. Шибко О.В.

Ведуче підприємство:

Інститут чорної металургії НАН
України, м. Дніпропетровськ.

Захист відбудеться "20" червня 1997 р. о 12 годині 30 хвилин
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 03.11.03
при Державній металургійній академії України
за адресою: 320065, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці
Державної металургійної академії України

Автореферат розіслано "18" травня 1997 г.

В.о. вченого секретаря
спеціалізованої ради
д.т.н., професор

П.Ф.Мироненко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА.

Актуальність роботи.

У теперішній час поряд з традиційними металургійними процесами засвоєні у промисловому масштабі або знаходяться на різних ступенях розробки та засвоєння ряд технологічних схем безкоксової металургії, які, на думку їхніх авторів, мають переваги перед коксодовою металургією за якістю металу, економічними, енергетичними та екологічними показниками.

Для формування системного підходу до аналізу тенденцій розвитку технології та оцінки її перспектив необхідно всебічне розглядання специфіки традиційних та альтернативних процесів. При цьому їхня оцінка має проводитись не за окремими фізико-хімічними, тепловими, газодинамічними та іншими показниками, а за більш загальними критеріями, які містять їх як компоненти, - використанням первісних енерго- та сировинних ресурсів, екологічними та економічними показниками.

Мета роботи:

1) розробка методики оцінки технологічних процесів за витратами первісних енергоресурсів та сировинних матеріалів;

2) розробка фізико-хімічних та математичних моделей окремих ступенів та усєї технологічної цепі процесів безкоксового отримання чавуну та сталі;

3) дослідження залежності витрат основних шихтових матеріалів та енергоносіїв, а також витрат первісних енергоресурсів у процесах безкоксової металургії від різноманітних факторів (ступень попереднього відновлення залізородної сировини, ступінь допалення відходячих газів та ін.);

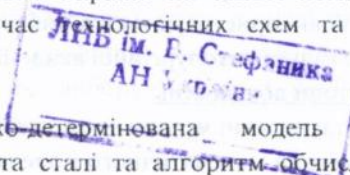
4) обґрунтування та розробка раціональної технологічної схеми безкоксового отримання рідкого металу;

5) розробка методики та зіставлення різноманітних технологічних схем виробництва чавуну та сталі за екологічними та економічними показниками;

6) теоретичне обґрунтування та визначення доцільних засобів отримання рідкого металу в умовах України на основі комплексного аналізу існуючих в теперішній час технологічних схем та процесів виробництва чавуну та сталі.

Наукова новизна роботи:

1) розроблені статистико-детермінована модель процесів безкоксового отримання чавуну та сталі та алгоритм обчислення не-



відомих параметрів моделі, створені комп'ютерні програми розрахунків;

2) розроблена методика зіставлення процесів традиційної та безкоксової металургії за витратами та раціональністю використання первісних енергоресурсів, на основі якої доведені переваги процесу рідкофазового відновлення;

3) виконаний аналіз екологічних та економічних показників ряду процесів виробництва чавуну та сталі, який показує переваги процесів безкоксової металургії перед традиційною коксодовою схемою, обґрунтована доцільність розвитку процесу рідкофазового відновлення в умовах України;

4) запропонована раціональна схема безкоксового отримання рідкого металу, яка містить попереднє відновлення залізородної сировини в шахтній печі з послідовним безперервним розплавленням металізованого полупродукту, що отримується, відновлюючою низько-температурною плазмою.

Практична цінність та реалізація результатів роботи:

1) розроблена методика розрахунків витрат та коефіцієнтів використання первісної енергії дозволяє оцінити різноманітні технологічні схеми з позицій витрат первісних енерго- та сировинних ресурсів і визначити перспективи та доцільність розвитку розглядаємих процесів у конкретних умовах;

2) фізико-хімічні та математичні моделі процесів безкоксової металургії дозволяють провести повний детальний аналіз процесів з урахуванням необхідних витрат основних шихтових матеріалів та технологічних газів, що може бути використано проектними та плануючими організаціями;

3) виконаний порівняльний аналіз різноманітних технологічних схем з позицій екології та економіки для ряду процесів виробництва чавуну та сталі, який може бути використаний під час вибору технологічного процесу проектними та плануючими організаціями;

4) за результатами комплексного аналізу ряду технологічних схем процесів традиційної та безкоксової металургії УКРДІПРОМЕЗу видані рекомендації, які були використані при розробці проекту основних напрямків розвитку та реструктуризації чорної металургії України;

5) комп'ютерні програми моделювання процесів безкоксової металургії використовуються в учбовому процесі на кафедрі металургії сталі Державної металургійної академії України.

Методи досліджень:

1) статистичні методи досліджень за літературними даними;

2) методи математичного моделювання з використанням ЕОМ.

Апробація роботи.

Основні результати дисертації докладені на VIII Міжнародній науково-технічній конференції "Теорія та практика киснево-конверторних процесів" (м. Дніпропетровськ, жовтень 1994 р.), науково-технічній конференції "Теорія та технологія виробництва чавуну та сталі" (м. Липецьк, жовтень 1995 р.), Другій Міжнародній науково-практичній конференції "Теорія і практика рішень екологічних проблем в гірничодобуваючій та металургійній промисловості" (м. Дніпропетровськ, листопад 1995 р.), III Міжнародному конгресі сталеплавильщиків (м. Москва, квітень 1995 р.), наукових семінарах кафедри металургії сталі Державної металургійної академії України та отримали ухвалення.

Публікації.

Основні положення дисертаційної роботи відображені у 13 друкованих роботах, у тому числі в 6 статтях у журналах та збірниках праць та 7 тезах докладів.

Структура та обсяг роботи.

Дисертація складається зі вступу, п'яти глав, заключення, списку літератури та додатків; викладена на 182 сторінках, включаючи 133 сторінки машинописного тексту, 20 рисунків, 17 таблиць, 10 сторінок списку літератури з 123 найменувань робіт вітчизняних та закордонних авторів, 23 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

ВСТУП.

В умовах реструктуризації чорної металургії України технічна відсталість металургійних підприємств при наявності досить міцної сировинної та паливної бази, а також серйозний науковий потенціал роблять доцільним не тільки удосконалення існуючих технологій, але й, у першу чергу, розробку та впровадження нових, найбільш прогресивних технологічних схем, які використовуються для отримання чавуну та сталі у промислово розвинених країнах.

Інтенсивний розвиток процесів безкоксової металургії, який спостерігається у теперішній час, привів до існування значної кількості різноманітних технологій виробництва металу і, отже, до необхідності їх всебічної оцінки та зіставлення з традиційною коксодовою схемою отримання чавуну та сталі з метою вибору найбільш раціональної технологічної схеми в умовах України.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ ЧАВУНУ ТА СТАЛІ.

За оцінками західних спеціалістів 25 - 30% усіх металургійних підприємств у республіках СНД та країнах Східної Європи мають бути зачинені або повністю модернізовані через відсталість техніки та технології, відсутності очистних споруд, великих енергетичних витрат, низького виходу придатної продукції та низької її якості. Чорна металургія у цих країнах знаходиться у критичному стані. Об'єми виробництва чорних металів в Україні скоротилися майже в два рази, але, незважаючи на це, у теперішній час більш, ніж 60% валютних експортних надходжень в країні припадає на частку чорної металургії. Тому плани розвитку та удосконалення чорної металургії України на оглядний період мають бути спрямовані на розробку, дослідно-промислово перевірку та швидке засвоєння принципово нових технологій.

В останні десятиріччя активно розроблялися різноманітні безкоксові процеси бездоменого отримання металу, які протікають в одну або дві стадії з участю у той чи іншій мірі рідкофазового відновлення оксидів, причому, незважаючи на високий технічний та економічний рівень сучасних традиційних металургійних технологій, цікавість до процесів безкоксового отримання чавуну та сталі продовжує зростати. Ці процеси розвиваються в теперішній час за двома основними напрямками: твердофазове та рідкофазове відновлення.

Інтенсивний розвиток процесів безкоксової металургії, який спостерігається у теперішній час, привів до існування значної кількості різноманітних технологій виробництва металу і, отже, до необхідності їхньої всебічної оцінки та зіставлення з традиційною коксодоменою схемою отримання чавуну та сталі з метою вибору найбільш раціональної з енергетичної, екологічної та економічної точок зору технологічної схеми.

Як об'єкти для зіставлення необхідно розглянути найбільш перспективні процеси, які відносяться до різних напрямків безкоксової металургії. На основі аналізу літературних даних були вибрані процеси Midrex (шахтна піч прямого відновлення), Cogex (двухстадійна відновлююча плавка) і Romelt (процес рідкофазового відновлення - одностадійна відновлююча плавка).

Відсутність матеріальних можливостей для експериментальних досліджень приводить до необхідності використання підчас комплексного аналізу процесів безкоксової металургії методів математичного моделювання.

2. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ БЕЗКОКСОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ.

Структурова технологічна схема процесів безкоксової металургії являє собою послідовність кількох стадій, яка у найбільш повному вигляді складається з:

1) стадії попереднього відновлення (здійснюється, частіше за усе, в реакторах киплячого шару, шахтного типу та ін.);

2) стадії довідновлення (здійснюється у різноманітних реакторах періодичної або безперервної дії); як правило, на цієї ж стадії здійснюється підготовка відновлювача або відновлюючого газу;

3) стадії відновлюючого (плазмотрон, електропіч) або окислюючого (кисневий конвертор) рафінування;

4) стадії комплексного доведення та розкислення, яка забезпечує якість сталі, яка потребується (можливо, сталерозливний ковш).

При цьому існуючі процеси можуть містити в собі як один агрегат (наприклад, процеси Midrex, ПРВ), так і декілька агрегатів (наприклад, Согех: шахтна піч попереднього відновлення (1) та плавильний газифікатор (2)). Крім того, в ряді технологічних схем виробництва чавуну та сталі деякі стадії можуть бути відсутні.

Розроблені фізико-хімічні та математичні моделі окремих ланок технологічної цепі, які становлять у сукупності модель процесів безкоксової металургії. Математичні моделі являють собою системи нелінійних рівнянь і містять балансові рівняння, які вміщують дані про склад вихідних сировинних матеріалів, палива, дуття та задані кінцеві результати, термохімічні та теплофізичні характеристики, а також термодинамічні залежності з урахуванням теоретично та експериментально встановлених емпіричних коефіцієнтів, які відображують технологічні параметри та умови протікання процесів.

У роботі були розроблені рішення та алгоритми обчислення невідомих параметрів математичних моделей з використанням ПЕОМ. На мові програмування Turbo Pascal 7.0 написана програма для ПЕОМ, яка містить фізико-хімічні та математичні моделі процесів попереднього відновлення, повного відновлення (довідновлення) та рафінування (відновлюючого або окислюючого).

Перевірка адекватності розроблених моделей була проведена на базі опублікованих в літературі даних про роботу ряду промислових установок прямого отримання (Midrex, ПЖВ). Задовільна сходиність результатів моделювання з показниками роботи установок свідчить про адекватність розроблених моделей та можливість їх використання для

аналізу різноманітних варіантів технологічних процесів прямого отримання.

Моделювання вказаних стадій процесів безкоксової металургії показало, що, з точки зору витрат первісних енергоресурсів, оптимальна ступінь металізації залізорудної сировини в процесі попереднього відновлення становить 91 - 93%, що підтверджується виробничими даними Оскольського електromеталургійного комбінату. У процесі повного відновлення (довідновлення) необхідно здійснювати утилізацію відходячих газів на стадії попереднього відновлення або допалення їх до CO_2 та H_2O з максимальним ступенем допалення, який обмежується стійкістю футеровки своду агрегату.

Аналіз процесу відновлюючого рафінування з використанням низькотемпературної відновлюючої плазми показав, що при зростанні температури плазмового факелу витрати первісної енергії на виробництво сталі зменшуються, оскільки зростання скрізних енерговитрат на виробку електроенергії, навіть з урахуванням к.к.д. плазмотрону 0.7 - 0.8, з'являється більш вигідним за рахунок значного зменшення кількості димових газів та пов'язаних з цим теплових втрат.

З урахуванням проведеного аналізу розроблена раціональна технологічна схема безкоксового отримання рідкого металу, яка містить попереднє відновлення залізорудної сировини в шахтній печі типа Midrex (ступінь металізації 90 - 92%) з послідуочим безперервним розплавленням губчатого заліза, що отримується, відновлюючою низькотемпературною плазмою.

Отримані результати моделювання були використані спільно з літературними даними для аналізу витрат первісної енергії та сировини у різноманітних варіантах технології безкоксового отримання чавуну та сталі.

Комп'ютерні програми моделювання процесів безкоксової металургії використовуються в учбовому процесі на кафедрі металургії сталі Державної металургійної академії України.

3. АНАЛІЗ ВИТРАТ ПЕРВІСНОЇ ЕНЕРГІЇ В ПРОЦЕСАХ ОТРИМАННЯ ЧАВУНУ ТА СТАЛІ.

Використовані в літературі методи оцінки енергетичних показників не дають можливості провести досить повний та об'єктивний аналіз через різну якість енергоресурсів, що використовуються, тому в роботі була запропонована методика, за якою енерговитрати розраховуються на ґрунті не енергетичних, а матеріальних балансів процесів, що дозволяє проаналізувати енергомiсткiсть процесів отримання чавуну та сталі як з

точки зору витрат первісної енергії на одиницю металу, який отримується, так і з точки зору раціональності використання первісних енергоресурсів.

Витрати первісної енергії (скрізна енерговмістивість) розглядаються як інтегральний показник, який враховує витрати енергії як у саме технологічному процесі, так і на усіх попередніх йому стадіях виробництва, починаючи з видобування, переробки та транспортування енергоресурсів та сировини:

$$Z = \sum (P_i * Z_i), \text{ МДж/кг}, \quad (1)$$

де: P_i - дольні витрати матеріалу на виробництво одиниці кінцевого продукту, од/кг;

Z_i - витрати первісної енергії, необхідні для отримання одиниці (маси, об'єму тощо) цього матеріалу (для матеріалів, які утилізуються, витрати первісної енергії мають від'ємне значення), МДж/од.

Структурово витрати первісної енергії можна розподілити на витрати, пов'язані з організацією технологічного процесу (підготування матеріалів, обслуговування агрегатів, компенсація теплових втрат та ін.) і витрати, необхідні на фізико-хімічні перетворення при отриманні цього матеріалу з вихідної сировини (нагрів і розплавлення, окислювально-відновлюючі процеси та ін.).

Внутрішній енерговміст (теорегічна енерговмістивість) визначається як сума повної фізичної та хімічної енерговмістивості продукту та являє собою "засвоєну" кінцевим продуктом частину енергії. Таким чином, внутрішній енерговміст показує мінімальні теоретично необхідні енерговитрати на отримання готового продукту з чистих вихідних матеріалів при відсутності теплових втрат і дозволяє проаналізувати енерговмістивість процесів не тільки з точки зору витрат первісної енергії на одиницю металу, що отримується, але й з точки зору раціональності використання первісних енергоресурсів.

Енерговміст продукту можна розглядати, з одного боку, як витрати первісної енергії на отримання цього продукту за винятком енерговмісту побічних продуктів та теплових втрат:

$$\Theta = Z - \sum (\Theta_i * P_i) - \sum (Q(\text{втр})_i), \text{ МДж/кг}, \quad (2)$$

де Θ_i - енерговміст побічних продуктів та технологічних відходів (шлак, газу) після утилізації їхньої енергії у технологічному процесі, МДж/од;

$Q(\text{втр})_i$ - теплові втрати агрегатів на усіх стадіях технологічного процесу, у тому числі й при утилізації побічних продуктів, МДж/од.

З іншого боку, енерговміст може бути розрахований у вигляді суми тепловмісту продукту (фізичного та хімічного) і витрат енергії на хімічні перетворення при отриманні одиниці цього продукту з вихідних матеріалів:

$$\Theta = Q_{\text{фіз}} + \Sigma(Q_i * R_i / 100), \text{ МДж/кг}, \quad (3)$$

де $Q_{\text{фіз}}$ - фізичний тепловміст продукту, МДж/кг;

Q_i - теплові ефекти реакцій окислення до вищих окислів елементів, які входять до складу цього продукту, МДж/кг;

R_i - вміст елементів у продукті, %.

Для оцінки раціональності був введений коефіцієнт використання первісної енергії K , який показує відношення теоретичної енерговмістивості (внутрішнього енерговмісту) готового продукту до реальних витрат первісної енергії на усіх етапах технологічного процесу:

$$K = \Theta / Z. \quad (4)$$

Очевидно, що значення K знаходиться в межах від 0 до 1 (або від 0 до 100%) і показує ступінь наближення реального технологічного процесу до ідеального.

Розроблені математичні моделі розрахунків витрат та коефіцієнтів використання первісної енергії у різноманітних металургійних процесах, створені комп'ютерні програми у табличному процесорі Supercalc 4.0 та виконані розрахунки, які дозволяють порівняти різні технологічні схеми традиційної та безкоксової металургії з точки зору витрат первісних енергоресурсів. Результати розрахунків для основних енергоносіїв та залізородних матеріалів наведені у таблицях 1 і 2.

Розрахунки витрат та коефіцієнтів використання первісної енергії в традиційних та альтернативних процесах виробництва чавуну (таблиця 3) показують, що за витратами первісної енергії процеси безкоксової металургії мають переваги перед традиційною коксодовою схемою, причому процес рідкофазового відновлення перевершує найкращі досягнуті на сьогоднішній день показники доменної плавки. Однак, з урахуванням різного хімічного складу і температури отриманого чавуну та, внаслідок цього, різного внутрішнього енерговмісту, коефіцієнт використання первісної енергії для кращих показників доменного процесу трохи вище, ніж для ПРВ.

Проте, приймаючи до уваги, що показники доменної плавки, зафіксовані, як абсолютний рекорд за мінімізацією витрат енергоносіїв, на сьогоднішній день недосяжні у реально існуючому промисловому доменному виробництві, а також суттєві (на порядок) відміни у продуктивності розглядаємих агрегатів, з позицій енергетики належить

Таблиця 1.

Витрати та коефіцієнти використання первісної енергії
для палива та енергоносіїв.

Матеріали	од.вим.	Э, МДж/од.	З, МДж/од.	К, %
Природний газ	м ³	35.4	37.6	94.15
Мазут	кг	39.8	41.0	97.07
Вугілля, антрацит	кг	30.0	31.0	96.77
Кокс	кг	34.0	40.4	84.16
Електроенергія	кВт*г	3.6	11.25	32.00

Таблиця 2.

Витрати та коефіцієнти використання первісної енергії
при виробництві залізородної сировини.

Матеріали	Э, МДж/кг	З, МДж/кг	З', кДж/кг Fe	К, %	К', %/кг Fe
Залізна руда	0.13	0.4	8.7	32.5	70.7
Концентрат	0.47	1.4	22.6	33.6	54.2
Агломерат	0.96	2.2	42.6	41.8	84.5
Окотиші:					
обпалені	0.56	3.4	55.6	16.5	27.0
металізовані	7.51	15.3	170.0	49.1	54.5
Металевий лом	6.9	7.1	76.6	97.2	—

Таблиця 3.

Витрати та коефіцієнти використання первісної енергії
при виробництві чавуну.

Процеси виробництва чавуну	Э, МДж/кг	З, МДж/кг	К, %
Домений:	10.08		
середні показники		25.41	39.7
кращі показники		20.23	49.8
ПРВ:	9.90		
ступінь допалення 55%		26.77	37.0
ступінь допалення 71%		22.88	43.3
ступінь допалення 93%		20.09	49.3
Согех:	9.87		
1 - з виробкою електроенергії		23.25	42.5
2 - з рециркуляцією відх. газів		22.91	43.1

зробити висновок про перспективність безкоксових технологій і, в першу чергу, процесу рідкофазового відновлення.

Для зіставлення різноманітних процесів виробництва сталі розрахунки проводились, виходячи з отримання сталі одного й того ж хімічного складу (0.2% вуглецю, 0.2% кремнію, 0.5% марганцю та 0.03% фосфору) при однаковій температурі 1600°C (енерговміст рідкої сталі становить 8.87 МДж/кг). Результати розрахунків витрат та коефіцієнтів використання первісної енергії при виробництві сталі за різними технологічними схемами наведені у таблиці 4. Слід відзначити, що розрахунки за методикою, яка не враховує для металевому лому його внутрішній енерговміст, а тільки витрати первісних енергоресурсів на його транспортування та підготовку до плавки, дають аналогічні співвідношення для різних технологічних схем як за витратами первісної енергії, так і за коефіцієнтами використання її у розглядаємих процесах.

Таблиця 4.

Витрати та коефіцієнти використання первісної енергії
при виробництві сталі.

Технологічна схема	З урахуванням внутрішнього енерговмісту лому		Без урахування внутрішнього енерговмісту лому	
	З, МДж/кг	К, %	З', МДж/кг	К', %
($\Xi = 8.87$ МДж/кг)				
Д/пічч (сер.) - к/к	24.10	36.8	22.15	40.1
Д/пічч (min) - к/к	19.79	44.8	17.84	49.7
Cogex (схема 1) - к/к	22.94	38.7	21.60	41.1
Cogex (схема 2) - к/к	23.24	38.2	21.90	40.5
ПРВ (ст.д.93%) - к/к	20.50	43.3	19.29	46.0
Пл. 100% лому у к/к	13.75	64.5	6.02	—
Midrex - електропічч	27.22	32.6	25.97	34.2
Електропереплав лому	14.48	61.3	6.89	—
"Midrex - плазма"	20.79	42.7	20.79	42.7

При рекордних мінімальних енерговитратах на виробництво доменого чавуну традиційна схема дає найкращі результати, проте, приймаючи до уваги наведений аналіз процесів виробництва чавуну та сталі, можна зробити висновок про доцільність подальших досліджень та розробок у цьому напрямку, впровадження цих процесів у промислове виробництво у широкому масштабі.

Показана перспективність пропонуємої технології "Midrex-плазма" за витратами первісних енергоресурсів.

4. АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ ЧАВУНУ ТА СТАЛІ З ПОЗИЦІЙ ЕКОЛОГІЇ.

Вивченню екологічних проблем чорної металургії в Україні, де металургійне виробництво посідає одне з ведучих місць у загальному обсязі промислових викидів, повинна приділятися особлива увага.

Технологічні заходи по зменшенню утворення шкідливих речовин на порядок дешевше, ніж їхнє подальше уловлювання чи очистка стокових вод. Безперервно зростаючі витрати на захист оточуючого середовища чинять суттєвий вплив на економічну ефективність виробництва і, навіть, на вибір основного технологічного процесу. У зв'язку з цим, розробка та використання технологій, які дозволяють зменшити техногенне навантаження на оточуюче середовище, має суттєве еколого-економічне значення.

Аналіз кількості викидів шкідливих речовин в атмосферу на тону сталі за чотирма основними для металургійного виробництва компонентами (пил, окиси вуглецю, сірки та азоту) дозволяють зробити висновок про значні переваги безкокскових технологій над традиційною коксодоменою схемою за усіма розглянутими показниками. Результати зіставлення наведені у таблиці 5. Урахування інших токсичних викидів (H_2S , H_2SO_4 , бензопірен, NH_3 , фенол, нафталін, HCN та ін.) приводить за рахунок коксохімічного виробництва до ще більшої різниці на користь безкоксового отримання чавуну.

Крім того, під час використання процесу ПРВ вирішується проблема переробки шлаків і шламів аглодоменого та сталеплавильного виробництв, які містять 35 - 55% заліза, домішки лужних та важких кольорових металів (зокрема, цинку та свінцю). Зберігання їх у шламонакопичувачах та відвалах також пов'язане з забрудненням водного та повітряного басейнів, земельних угіддів важкими кольоровими металами, виведенням угіддів з землекористування.

Таким чином, реалізація технологічних схем безкоксової металургії є одним з можливих шляхів зменшення негативного впливу металургійних підприємств на оточуюче середовище.

Відсутність даних про забруднення оточуючого середовища при отриманні сталі за пропонуємою технологією "Midrex - плазма" не дозволяє об'єктивно оцінити її екологічні показники, однак технологічна основа пропонуємого процесу дозволяє припустити, що з розглянутих технологій така схема буде найбільш екологічно чистою.

Таблиця 5.

Небезпечність (у чисельнику) та відносна агресивність (у знаменнику) викидів в атмосферу при виробництві сталі.

Викиди в атмосферу		Коксодомена технологія		Corex - конвертор		ПРВ - конвертор		Midrex - електропіч	
Речов.	к / А	кг	ум.од.	кг	ум.од.	кг	ум.од.	кг	ум.од.
Пил	20.0	15.1	302	10.1	202	4.4	88	5.6	112
	100.0		1510		1010		440		560
CO	0.33	51.1	17	9.2	3	2.3	1	1.9	1
	1.0		51		9		2		2
SO ₂	20.0	16.4	328	10.3	206	10.0	200	15.2	304
	22.0		361		227		220		334
NO ₂	25.0	6.9	173	6.4	161	5.3	133	10.1	253
	41.1		284		263		218		415
Усього		89.5	820	36.0	572	22.0	422	32.8	670
			2206		1509		880		1311

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ ЧАВУНУ ТА СТАЛІ.

Наведені у вітчизняній та закордонній літературі розрахунки по визначенню порівняльної ефективності різноманітних технологічних схем виробництва чавуну та сталі дають значні розходження в оцінці рівня ефекту безкоксової металургії аж до протилежних результатів.

Проведений на основі літературних даних та техніко-економічних показників роботи ряду металургійних цехів, заводів та комбінатів України й Росії аналіз продуктивності різних металургійних агрегатів дозволив зіставити продуктивність сучасних доменних печей та установок основних процесів безкоксової металургії, які використовуються у теперішній час у промисловості.

Продуктивність доменої печі на сьогоднішній день суттєво перевищує продуктивність сучасних агрегатів безкоксової металургії.

однак слід прийняти до уваги, що сучасний доменний процес максимально оптимізований і подальше збільшення продуктивності у доменній плавці практично неможливе, у той час як у багатьох альтернативних процесів є значні резерви для її зростання.

Установки Midrex і Corex, також, як і домена піч, мають обмеження за продуктивністю, які пов'язані, у першу чергу, з наявністю шахтної печі з обмеженою газопроникливістю шару шихти. У цьому плані установка ПРВ більш переважлива, оскільки при вже існуючій достатньо високій продуктивності обмежень для її зростання практично немає (лімітуючою ланкою, певно, є процеси теплопередачі від факелу до металу через шар шлаку, що на даному етапі не викликає проблем з технічною організацією процесу).

Зіставлення капітальних витрат при різноманітних технологічних схемах виробництва сталі показує переваги отримання сталі за схемою "процес рідкофазового відновлення - кисневий конвертор" як перед традиційною коксодоменною схемою, так і перед іншими технологіями, які використовуються у теперішній час у промисловому масштабі і містять безкоксове отримання чавуну або пряме відновлення заліза.

Зіставлення традиційної коксодоменної та альтернативних схем виробництва чавуну та сталі за себевартістю продуктів показало, що за себевартістю чавуну процеси безкоксової металургії мають переваги перед коксодоменною схемою, причому найбільш економічною з розглянутих технологій є процес рідкофазового відновлення при ступені допалення CO до CO₂ більш 70%.

Розрахунки вартості основних шихтових матеріалів та енергоносіїв для сталі одного й того ж хімічного складу та температури, яка отримується у різних технологічних процесах (для запропонованої схеми "Midrex - плазма" розрахунки виконані у відповідності з показниками, які плануються), показали, що себевартість сталі буде мінімальна при отриманні її за схемою "ПРВ - конвертор". Результати розрахунків в умовних грошових одиницях наведені у таблицях 6, 7 (1 УГО = 1 тис. крб. у цінах I кварталу 1996 р.).

Аналіз специфіки умов України з позицій металургійного виробництва приводить до висновків, що, з урахуванням запасів та видобування паливних ресурсів в Україні, найбільш доцільний розвиток процесів безкоксової металургії, які не потребують витрат дефіцитного в умовах України природного газу (шахтні процеси прямого отримання заліза типа Midrex), а заснованих на використанні енергетичного вугілля (ПРВ, Corex), причому додаткові можливості процесу рідкофазового відновлення з комплексної переробки некондиційних руд та залізівмі-

Таблиця 6.

Вартість основних шихтових матеріалів та енергоносіїв
при виробництві чавуну.

Технологічний процес	Вартість, УГО/кг / %.
Домений, середні показники	24.52 / 100.0
кращі показники	20.92 / 85.3
Cogex, кращі показники	16.42 / 67.0
ПРВ, ступінь допалення 55%	19.83 / 80.9
71%	14.76 / 60.2
93%	13.09 / 53.4

Таблиця 7.

Вартість основних шихтових матеріалів та енергоносіїв
при виробництві сталі.

Технологічна схема	Вартість, УГО/кг / %.
Домена піч (середн.) - конвертор	22.35 / 100.0
Домена піч (кращ.) - конвертор	19.36 / 86.6
Cogex(кращ.) - конвертор	16.25 / 72.7
ПРВ (кращ.) - конвертор	13.32 / 59.6
Конверторна плавка на 100% лому	7.73 / 34.6
Midrex - електропіч	20.13 / 90.1
Електроплавка на 100% лому	8.00 / 35.8
"Midrex - плазма"	18.53 / 82.9

щуючих відходів металургійного виробництва роблять ПРВ економічно найбільш доцільним.

Результати досліджень витрат та коефіцієнтів використання первісних енергоресурсів, екологічних та економічних показників різноманітних технологічних схем виробництва чавуну та сталі видані УКРДІПРОМЕЗу для використання при розробці проекту основних напрямків розвитку та реструктуризації чорної металургії України.

6. ЗАКІНЧЕННЯ.

Проведений аналіз розвитку та структури чорної металургії в світі, СНД та в Україні, який показує необхідність розвитку нових металургійних технологій.

Існування великої кількості альтернативних схем безкоксого

виробництва чавуну та сталі приводить до необхідності їхнього всебічного комплексного аналізу з використанням математичних моделей процесів для вибору найбільш раціональної з енергетичної, екологічної та економічної точок зору технологічної схеми в умовах України.

Розроблені фізико-хімічні та математичні моделі та написані комп'ютерні програми на мові програмування Turbo Pascal 7.0 для розрахунків процесів попереднього відновлення, повного відновлення (довідновлення) та рафінування (відновлюючого або окислювального), які складають у різних поєднаннях технологічну схему будь-якого процесу безкоксової металургії. Адекватність моделей була перевірена шляхом порівняння результатів та показників моделювання реальних процесів Midrex, Cogex та ПРВ.

Комп'ютерні програми моделювання процесів безкоксової металургії використовуються в учбовому процесі на кафедрі металургії сталі Державної металургійної академії України.

Розроблена раціональна технологічна схема безкоксового отримання рідкого металу, яка включає попереднє відновлення залізородної сировини у шахтній печі типа Midrex з послідуочим безперервним розплавленням металізованого полупродукту відновлюючою низькотемпературною плазмою.

Розроблена методика розрахунку внутрішнього енерговмісту, витрат та коефіцієнтів використання первісної енергії для аналізу енергетичних показників різноманітних процесів традиційної та безкоксової металургії, на основі якої створені математичні моделі розрахунків та комп'ютерні програми у табличному процесорі Supercalc 4.0. Виконані розрахунки та проведений аналіз енергетичних показників процесів виробництва чавуну та сталі, який показує перспективність процесів безкоксової металургії з позицій дольних витрат первісних енерго- та сировинних ресурсів (витрати первісної енергії в процесі рідкофазового відновлення при ступені допалення відходячих газів 93% становлять 20.09 МДж/кг чавуну, у доменому процесі - 25.41 МДж/кг, коефіцієнти використання первісної енергії відповідно 39.7% та 49.3%).

Проведений екологічний аналіз процесів традиційної та безкоксової металургії за утворенням та викидами в атмосферу на тону сталі чотирьох основних для металургійного виробництва компонентів (пил, окисли вуглецю, сірки та азоту). Небезпечність викидів в атмосферу при виробництві сталі за схемою "ПРВ - конвертор" у 1.9 рази нижча, ніж при традиційній коксодоменій технології, відносна агресивність - у 2.5 рази нижча. Показано, що одним з можливих шляхів зменшення негативного

впливу металургійних підприємств на оточуюче середовище є розвиток процесів безкоксової металургії (у першу чергу - процесу рідкофазового відновлення).

Проведений аналіз техніко-економічних показників процесів виробництва чавуну та сталі (дольна потужність та продуктивність агрегатів, себевартість продукції) і специфіки умов України з позицій металургійного виробництва.

На основі проведеного комплексного аналізу існуючих у теперішній час традиційної коксодової та альтернативних безкоксових технологічних схем та процесів виробництва чавуну та сталі показано, що у теперішній час в умовах України енергетично, екологічно та економічно найбільш доцільним є розвиток та широкомасштабне впровадження у металургійне виробництво процесу рідкофазового відновлення.

За результатами комплексного аналізу ряду технологічних схем процесів традиційної та безкоксової металургії УКРДІПРОМЕЗу видані рекомендації, які були використані при розробці проекту основних напрямків розвитку та реструктуризації чорної металургії України.

ОСНОВНИ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ВИКЛАДЕНІ У СЛІДУЮЧИХ ПУБЛІКАЦІЯХ:

1. Баптизманский В. И., Паниотов Ю. С., Зеликман В. Д. Анализ энергоемкости процессов получения чугуна и стали // *Металл и литье Украины.* - 1995. - N 4. - с. 2 - 5.

2. Баптизманский В. И., Паниотов Ю. С., Зеликман В. Д. Анализ энергоемкости технологической цепи металлургического производства // *Труды третьего конгресса сталеплавильщиков (г. Москва, 10 - 15 апреля 1995 г.).* - с. 61 - 64.

3. В. И. Баптизманский, Ю. С. Паниотов, В. Д. Зеликман. Сопоставление выбросов в окружающую среду различных технологических схем производства чугуна и стали // *Известия ВУЗов. Черная металлургия.* - 1995. - N 12. - с. 17 - 20.

4. Методика расчета процесса взаимодействия низкотемпературной плазмы с огнеупорными материалами / Паниотов Ю. С., Зеликман В. Д. // *Сборник трудов, представленных на научно-технической конференции "Теория и технология производства чугуна и стали" (г. Липецк, 9 - 13 октября 1995 г.).* - с. 30 - 35.

5. Затраты первичной энергии и ее использование в различных технологических схемах производства чугуна и стали / Баптизманский В. И., Паниотов Ю. С., Зеликман В. Д. // *Сборник трудов, представленных на научно-технической конференции "Теория и технология производства чугуна и стали" (г. Липецк, 9 - 13 октября 1995 г.).* - с. 191 - 196.

6. Экологическая оценка различных технологических схем производства чугуна и стали / Баптизманский В. И., Паниотов Ю. С., Зеликман В. Д. // *Сборник трудов, представленных на научно-технической конференции "Теория и технология производства чугуна и стали" (г. Липецк, 9 - 13 октября 1995 г.).* - с. 368 - 373.

7. Агрегат ПЖВ как проточный реактор непрерывного действия / Ю. С. Паниотов, В. И. Баптизманский, В. Д. Зеликман (ГМетАУ, г. Днепропетровск) // *VIII Международная научно-техническая конференция "Теория и практика кислородно-конвертерных процессов" (г. Днепропетровск, октябрь 1994 г.). Тезисы докладов.* - с. 38 - 39.

8. Моделирование низкотемпературной восстановительной плазмы / Ю. С. Паниотов, В. Д. Зеликман (ГМетАУ, г. Днепропетровск) // *VIII Международная научно-техническая конференция "Теория и практика кислородно-конвертерных процессов" (г. Днепропетровск, октябрь 1994 г.). Тезисы докладов.* - с. 42.

9. Анализ энергоемкости процессов получения чугуна и стали / В. И. Баптизманский, Ю. С. Паниотов, В. Д. Зеликман (ГМетАУ, г. Днепропетровск) // VIII Международная научно-техническая конференция "Теория и практика кислородно-конвертерных процессов" (г. Днепропетровск, октябрь 1994 г.). Тезисы докладов.- с. 49.

10. Взаимодействие низкотемпературной плазмы с огнеупорными материалами / Ю. С. Паниотов, В. Д. Зеликман (ГМетАУ, г. Днепропетровск) // VIII Международная научно-техническая конференция "Теория и практика кислородно-конвертерных процессов" (г. Днепропетровск, октябрь 1994 г.). Тезисы докладов.- с.89 - 90.

11. Экологическая оценка процессов бескоксовой металлургии / Паниотов Ю. С., Зеликман В. Д. // Вторая Международная научно-практическая конференция "Теория и практика решений экологических проблем в горнодобывающей и металлургической промышленности (г. Днепропетровск, ноябрь 1995 г.). Тезисы докладов.- с.46 - 47.

12. Анализ затрат и коэффициента использования первичной энергии в технологической цепи металлургического производства / Паниотов Ю. С., Зеликман В. Д. // Вторая Международная научно-практическая конференция "Теория и практика решений экологических проблем в горнодобывающей и металлургической промышленности (г. Днепропетровск, ноябрь 1995 г.). Тезисы докладов.- с. 76 - 77.

13. К вопросу об энергоемкости металлического лома / Паниотов Ю. С., Зеликман В. Д. // Вторая Международная научно-практическая конференция "Теория и практика решений экологических проблем в горнодобывающей и металлургической промышленности (г. Днепропетровск, ноябрь 1995 г.). Тезисы докладов.- с. 77.

Зелікман В. Д. Аналіз та математичне моделювання витрат первісних енерго- та сировинних ресурсів традиційного та альтернативних процесів виробництва чавуну та сталі з метою вибору оптимальних технологічних схем в умовах реструктуризації чорної металургії України. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 "Металургія чорних металів". Державна металургійна академія України, Дніпропетровськ, 1997. Рукопис 182 с., 17 табл., 20 рис., бібліогр. 123 назв.

Ключові слова: безкоксова металургія, моделювання, енерго-витрати, екологія, економіка.

Містить аналіз розвитку та структури чорної металургії в світі, СНД та Україні, огляд основних альтернативних технологій виробництва чавуну та сталі.

Розроблені фізико-хімічні та математичні моделі процесів безкоксової металургії, запропонована раціональна технологічна схема безкоксового отримання рідкого металу.

Розроблена методика оцінки технологічних процесів за витратами первісних енергоресурсів та сировинних матеріалів, проведений комплексний енергетичний, екологічний та економічний аналіз традиційної коксодоменої та альтернативних технологічних схем процесів виробництва чавуну та сталі, який показує переваги процесів безкоксової металургії.

Показано, що в теперішній час в умовах реструктуризації чорної металургії України найбільш доцільним є розвиток та широкомасштабне впровадження в металургійне виробництво процесу рідкофазового відновлення.

Зеликман В. Д. Анализ и математическое моделирование затрат первичных энерго- и сырьевых ресурсов традиционного и альтернативных процессов производства чугуна и стали с целью выбора оптимальных технологических схем в условиях реструктуризации черной металлургии Украины. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 "Металлургия черных металлов". Государственная металлургическая академия Украины, Днепропетровск, 1997. Рукопись 182 с., 17 табл., 20 рис., библиогр. 123 назв.

Ключевые слова: бескоксая металлургия, моделирование, энергозатраты, экология, экономика.

Содержит анализ развития и структуры черной металлургии в мире, СНГ и Украине, обзор основных альтернативных технологий производства чугуна и стали.

Разработаны физико-химические и математические модели процессов бескоксой металлургии, предложена рациональная технологическая схема бескоксого получения жидкого металла.

Разработана методика оценки технологических процессов по затратам первичных энергоресурсов и сырых материалов, проведен комплексный энергетический, экологический и экономический анализ традиционной коксодоменной и альтернативных технологических схем процессов производства чугуна и стали, показывающий преимущества процессов бескоксой металлургии. Доказана перспективность предлагаемой технологии по энергетическим, экологическим и экономическим показателям.

Показано, что в настоящее время в условиях реструктуризации черной металлургии Украины наиболее целесообразным является развитие и широкомасштабное внедрение в металлургическое производство процесса жидкофазного восстановления.

Zelikman V. D. The analysis and mathematical simulation of primary energy and raw resources' expenditures of traditional and alternative pig-iron and steel productions processes with the purpose of the optimal technological schemes choice in Ukrainian ferrous metallurges restructurisations conditions. The dissertation on submit of the candidate of technical sciences scientific degree in a speciality 05.16.02 "Ferrous Metallurgy". State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, 1997. The manuscript 182 p., 17 tab., 20 fig., 123 ref.

Key words: without-coke metallurgy, simulation, energy's expenditures, ecology, economy.

Contains the analysis of ferrous metallurgy's development and structure in the world, UIS and Ukraine, review of the main alternative technologes of pig-iron and steel production.

Phisical-chemical and mathematical models of without-coke metallurgy processes are developed, the rational technological schemes of without-coke receiving of liquid metall are proposed.

Technique of technological processes valuation on primary power resources and crude materials expenditures are developed, complex power, ecological and economic analysis of traditional coke-blast and alternative technological schemes of pig-iron and steel productions processes is conducted, showing advantages of without-coke metallurgy processes. The propousing technologes perspectivity by power, ecological and economic indicators are proved.

Is shown, that at present in Ukrainian ferrous metallurgy restructurisations conditions the most expedient is the development and wide-scale introduction in metallurgical production liquid-phases reduction process.

436664

АВ 37.999

Подписано к печати 29.04.97 г.
Отпечатано в минитипографии
ЧП «RISO-копія»
Заказ №879 от 30.04.97 г.
Усл.печ.л.1,5. Формат 60x84 1/16
Тираж 50 экз.