

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА
АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

ГІЧОВ Юрій Олександрович

РОЗРОБКА ТА НАУКОВІ ОСНОВИ
СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ
КОНВЕРТОРНОГО ГАЗУ

Спеціальність — 05.16.02. — «Металургія чорних металів»

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ
1994

AB 29.747

Робота виконана в Державній металургійній академії України.

Науковий консультант:

Доктор технічних наук, професор Розенгарт Ю.Й.

Офіційні опоненти:

Заслужений діяч науки і техніки України, академік Академії інженерних наук України, доктор технічних наук, професор Біляев М.М.

Доктор технічних наук, професор Ольшанський В.М.

Доктор технічних наук Товаровський Й.Г.

Провідне підприємство:

Металургійний комбінат "Запоріжсталь"

Захист відбудеться "31" травня 1994 р. на засіданні спеціалізованої ради Д-068.02.02. при Державній металургійній академії України /320635, м.Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4/

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці академії.

Автореферат розіслано "28" квітня 1994 року.

Вчений секретар спеціалізованої ради, доктор технічних наук, професор

Цапко В.К.

ЛННБ України ім. В. Стефаника
00810413 (H)

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

AB-29.747

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Велика енергоємність технологій чорної металургії робить необхідним, поруч зі всілякою економією паливно-енергетичних ресурсів, пошук енерготехнологічних удосконалень з метою зниження енергоспоживання металургійними процесами. Рішення цієї проблеми особливо потрібне для України, яка має потужну чорну металургію при обмежених власних енергоресурсах. Проблема енергоресурсів чорної металургії стала особливо напруженою в останні роки в зв'язку з непростю ситуацією в енергозабезпеченні країни з-за кордону.

Б цілому на фоні достатньо широкого використання вторинних енергоресурсів в чорній металургії, що є одним з основних резервів в економії паливно-енергетичних ресурсів галузі, виділяється незадовільне становище з використанням відхідного газу сталеплавильних конверторів. З впровадженням в експлуатацію великотоннажних конверторів, які працюють по системі відводу газу без допалювання, проблема використання конверторного газу стала особливо актуальною, бо відведений без допалювання із конверторів газ спалюють на свічках газовідвідних трактів, що приводить до втрати в галузі сотень тисяч тонн умовного палива. Ефективне енергетичне використання конверторного газу внаслідок періодичності його виходу з конвертора на даному етапі неможливе.

Альтернативним варіантом є технологічне використання конверторного газу для теплової або термохімічної обробки конверторної шихти, що потребує розроблення спеціальних технологій, які враховують особливості виходу газу з конвертора, та пошук прийнятих для існуючих систем відведення газу з конвертора конструктивних рішень.

Мета роботи. Створення наукових основ та розробка систем технологічного використання конверторного газу для відновлення залізорудної сировини, випалу вапняка і нагріву металолому.

Наукова новизна роботи визначається сукупністю нових знань, які одержані в результаті експериментальних та теоретичних досліджень при розробці систем технологічного використання конверторного газу.

По використанню конверторного газу для відновлення залізорудної сировини: розроблено методичний підхід в оцінці відновлю-

варчої здатності конверторного газу, в результаті якого сформульовано основи технології процесу; встановлено закономірності процесу відновлення залізорудної сировини з використанням невеликих концентрацій CO в газі-відновнику; одержано експериментальну залежність по теплообміну між газом та шаром залізорудних оксидів; розроблено математичну модель і встановлено закономірності відновлення залізорудної сировини конверторним газом в різних варіантах виконання процесу.

По використанню конверторного газу для випалу вапняка: сформульовано позитивні сторони періодичного випалу і експериментально при випалі вапняка конверторним газом на дослідно-промисловій установці показано позитивний вплив від використовування продукту випалу на технологічні показники конверторних плавок; розроблено методику теплотехнічного та термохімічного аналізу процесу випалу вапняка конверторним газом, в результаті застосування якої сформульовано основи технології процесу; експериментально вивчено особливості циклічного процесу випалу вапняка з періодичною подачею газу-теплоносія; одержано експериментальні залежності швидкості просування фронту дисоціації в кусковій вапняку від його температури та теплообміну між газом і шаром випалюваного вапняка; розроблено математичну модель, встановлено закономірності та переважні режими випалу вапняка конверторним газом.

По використанню конверторного газу для нагріву металолому: розроблено методику теплотехнічного аналізу і сформульовано конструктивні концепції процесу нагріву металолому конверторним газом; експериментально вивчено процес нагріву металолому в завантажувальному совці при різних комбінаціях варіантів подачі та відведення газу; одержано експериментальну залежність теплообміну між газом та шаром нагрівасмого лому; встановлено експериментальну залежність інтенсивності угару металу в процесі нагріву лому від температури нагріву; розроблено математичну модель та вивчено особливості нагріву лому в завантажувальному совці при різних варіантах подачі і відведення газу.

Практична цінність і реалізація результатів роботи. Практична цінність роботи полягає в експериментально-теоретичному обґрунтуванні систем технологічного використання конверторного газу та створенні наукових основ для реалізації їх в промисловості.

Експериментальні дослідження на збільшених лабораторних установках забезпечили одержання комплексу дослідних даних, які не-

обхідні для конструювання дослідно-промислових та промислових установок технологічного використання конверторного газу і прогнозування їх роботи. Разом з цим, дослідження на збільшених лабораторних установках створили експериментальну базу для розробки математичних моделей процесів технологічного використання конверторного газу та перевірки адекватності цих моделей реальним процесам.

Розроблені математичні моделі забезпечили одержання необхідних для проектно-конструкторських рішень енерготехнологічних та конструктивних характеристик систем технологічного використання конверторного газу, не використовуючи при цьому дуже дорогих, а в деяких випадках практично нездійснюваних, промислових експериментів.

Дослідно-промислове випробування випалу вапняка конверторним газом в умовах діючого киснево-конверторного цеху показало дуже ефективний позитивний вплив наслідків роботи системи на технологічні показники киснево-конверторних плавок.

Результати досліджень використано при розробці техніко-економічних обґрунтувань, технічних рішень, технологічних завдань та проектів установок технологічного використання конверторного газу.

Апробація роботи. Результати роботи доповідались на І4 Всесоюзних та І0 Республіканських конференціях, а також: на ІІ Мінському міжнародному форумі по тепло- та масообміну /1992 р./; на І6 конференції країн СНД з питань горіння, випаровування та газової динаміки дисперсних систем /1993 р./; на спільному науковому семінарі секції металургійних печей НТТ металургів України, кафедри промислової теплоенергетики та кафедри теплотехніки і екології металургійних печей ДМетАУ /1994 р./; на наукових семінарах, технічних та науково-технічних радах ДМетАУ, Укрдіпромезу, інститута НДПІ Чорметенергоочистки /НПО "Енергосталь"/, металургійного комбінату "Запоріжсталь", Дніпропетровського металургійного заводу ім.Петровського. Результати роботи доповідались на наукових семінарах кафедри промислової теплоенергетики ДМетАУ /1976 - 1994 р.р./.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 68 друкованих праць і одержано І5 авторських свідоцтв.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, заключення, зміст дисертації викладено на 316 сто-

рінках машинописного тексту, містить 138 малюнків, 33 таблиці, список літератури із 635 найменувань та додаток.

Основні положення дисертації, які виносяться на захист:

- результати розробки систем технологічного використання конверторного газу для відновлення залізорудної сировини, випалу вапняка та нагріву металолому /основи технології та конструкції установок/;

- нові результати експериментальних досліджень, які отримані при розробці систем технологічного використання конверторного газу;

- математичні моделі процесів відновлення залізорудної сировини, випалу вапняка та нагріву металолому при використанні конверторного газу;

- комплекс технологічних та проектно-конструкторських рішень, які спрямовані на реалізацію результатів роботи в промисловості.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Проблеми, становище питання і основні задачі дослідження систем технологічного використання конверторного газу

Проблема використання конверторного газу полягає в періодичності його виходу з конвертора, що практично виключає можливість ефективного використання газу шляхом безпосередньої подачі споживачу. Практично всі пропозиції по енергетичному використанню конверторного газу, докладний аналіз яких виконано в роботі, так або інакше спрямовані на рішення цієї проблеми. Незважаючи на це, енергетичне використання конверторного газу обмежується тільки застосуванням схеми "ОКГ-газгольдер", яка включає окреме використання фізичної теплоти та хімічної енергії конверторного газу.

В киснево-конверторних цехах підприємств чорної металургії України схема "ОКГ-газгольдер" не використовується в повному обсязі із-за відсутності газгольдерних установок, будівництва яких в найближчій перспективі технічно та економічно недоцільно. Внаслідок цього газ, який відводиться із конвертору без допалювання, після охолодження та очистки спалюють на свічці газзвідного тракту, а утилізація фізичної теплоти газу в ОКГ дає змогу використати не більше 10 % енергії газу. Ситуація, яка склалася, потребує пошуку альтернативних енергетичному використанню кон-

верторного газу технічних рішень.

В технологічному використанні конверторного газу виділяються два підходи: допалювання газу в об'ємі конвертора та теплова обробка твердих компонентів шихти конверторної плавки. Ці два підходи спрямовано на рекуперацію енергії газу в конверторний процес.

Допалювання газу в конверторі відрізняється простотою рішення, але дозволяє використовувати не більше 15-20 % CO виділеного газу. Значно більші можливості для рекуперації енергії конверторного газу надає теплова обробка конверторної шихти. До теплової обробки шихти приваблює увагу можливість технологічного сполучення процесів обробки шихти з використанням періодично вихідного конверторного газу без яких-небудь додаткових засобів, які зв'язані з акумуляцією його енергії, тому що шихта в цьому випадку виконує функції звичайного для киснево-конверторного процесу акумулятора енергії газу.

Технологічно найбільш доступним серед способів теплової обробки шихти є попередній підігрів її сипучих компонентів, який потребує не більше 20-25 % газу, який виділяється із конвертора. Це дозволяє поширити область застосування газу за рахунок інших варіантів теплової або термохімічної обробки компонентів конверторної шихти.

Базуючись на характеристиках газу та видах вживаної конверторним процесом шихти, в цій роботі виділено три напрями технологічного використання конверторного газу: відновлення залізорудної сировини з наступним використанням металізованого продукту, як компоненту металошихти конверторної плавки шляхом часткової заміни ним чавуну, випал вапняка з наступним використанням вапна в якості шлакоутворюючого компонента замість вапна, що виробляється в звичайних вапнякововипалювальних печах, і нагрів металолому з метою збільшення його долі в металошихті киснево-конверторних плавок при відповідному скороченні витрати чавуну на виплавку сталі.

Перелічені напрями технологічного використання конверторного газу, поряд із збільшенням енергетичної ефективності киснево-конверторного процесу та зниженням його енергоємності, створюють умови для скорочення виробництва чавуну та вапна при відповідному зниженні витрат паливно-енергетичних ресурсів галузі на ці виробництва.

Представлені в даному розділі роботи попередні технічні рішення показали можливість та імовірність нетрадиційного підходу до конструктивного оформлення процесів технологічного використання конверторного газу, що разом із специфікою виходу газу з конвертора, робить необхідним розробку і дослідження спеціальних технологій цих процесів. Аналіз проблеми дає змогу сформулювати основні задачі дослідження, які складаються в поетапному рішенні таких питань: обґрунтування доцільності використання конверторного газу для відновлення залізорудної сировини, випалу вапняка та нагріву металолому; розробка основ технологій цих процесів у сполученні з існуючою системою відведення конверторного газу; розробка та експериментально-теоретичне обґрунтування математичних моделей процесів; дослідження процесів з метою визначення їх енерготехнологічних та конструктивних характеристик; розробка проєктно-конструкторських рішень та визначення техніко-економічної ефективності систем технологічного використання конверторного газу в умовах сучасного киснево-конверторного цеху.

2. Розробка та дослідження системи використання конверторного газу для відновлення залізорудної сировини

Використання конверторного газу в якості відновлювача дає змогу для розробки ефективної системи технологічного використання конверторного газу, яка включає одержання металізованої залізорудної сировини з наступним застосуванням її в конверторній плавці, і ліквідацію викидів CO в атмосферу, які мають місце в початковому та кінцевому періодах продукції конвертора при відведенні газу без допалювання.

Запропоновано два варіанти розміщення реактора-відновлювача на газовідвідному тракті конвертора, відповідно, з використанням високотемпературного газу / до газоочистки / та охолодженого газу / після газоочистки /. Перший варіант дає змогу одночасно з використанням відновлюючого потенціалу газу утилізувати його фізичну теплоту, а другий варіант спрощує розміщення реактора в цеху, причому нагрів охолодженого газу перед реактором за другим варіантом використання газу здійснюється шляхом часткового спалення газу з наступним утворенням продуктів згорання високотемператур -

ної суміші з основним потоком конверторного газу.

В результаті оцінки відновлювальної здатності конверторного газу та аналізу специфіки його виходу з конвертора встановлені особливості відновлення залізорудної сировини конверторним газом і сформульовані основи технології процесу: характер і тривалість відновлення, очікуваний вихід металізованого продукту, ступінь використання CO, прийнятні температурні інтервали процесу та інше. Встановлено, що для отримування високометалізованого продукту конверторний газ потрібно подавати в реактор-відновлювач на протязі декількох продувок конвертора, які утворюють цикл відновлення.

При цьому процес відновлення синхронізований з циклами виплавки сталі. Встановлено також, що використання високотемпературного газу в 2-3 рази ефективніше, ніж використання охолодженого газу, але разом з тим використання конверторного газу в якості відновлювача в обох варіантах цілком доцільно. Встановлено також прийнятні температурні інтервали відновлення залізорудної сировини в обох варіантах.

Виключення викидів CO в атмосферу з негорючим конверторним газом можливо в початковій стадії відновлення залізорудної сировини на ступені $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4$. Сполучення цього процесу з металізацією сировини вимагає двозонної компоновки реактора-відновлювача та диференційної подачі газу на відновлення в залежності від вмісту CO в газіві під час його виходу з конвертора. Експериментально на збільшеній лабораторній установці при відновленні залізорудних окатишів підтверджена можливість практично повного використання невеликих вмістів CO в газіві при відповідних температурних умовах та надлишках гематиту в сировині по відношенню до його стехіометричної величини в процесі.

Експериментальна установка виконана у вигляді шарового реактора шахтного типу з двоходовим перехресним рухом матеріалу та газу. Реакційна частина установки виготовлена з двох секцій, верхньої та нижньої, сполучених між собою по матеріалу вертикальною шахтою прямокутного перерізу. Для продувки шару поперечною течією газу із сторони газоходів в кожній секції встановлені жалюзійні решітки, між якими утворюються верхня та нижня зони обробки матеріалу. Відбір газу на аналіз та вимірювання температур шару дали змогу визначити залежність ступеня використання CO в процесі відновлення від температури шару для кожного режиму дослідів, які відрізнялись між собою різними витратами окатишів і

складом газу. В результаті узагальнення цих даних отримана експериментальна залежність, яка дозволяє розраховувати витрати окатишів і визначити температурні умови процесу відновлення з використанням невеликих концентрацій CO в газі, а також визначити робочий об'єм реактору для очистки газу від негорючих концентрацій CO.

Для математичного моделювання процесу відновлення залізородної сировини конверторним газом на цій же установці в результаті обробки експериментальних даних отримані рівняння подібності теплообміна при нагріванні шару залізородних окатишів для одно- та двофазової перехресної течії з газом. Запропоновано вигляд рівняння теплообміну, який дозволяє враховувати вплив на інтенсивність тепловіддачі перетоків газу із однієї зони в другу через шар в шахті, минаючи газоходи:

$$Nu = 0,0634 (1 - \nu_n)^{0,86} Re^{0,86}, \quad /1/$$

Виведена також залежність для розрахунку відносної кількості ν_n газу, що перетікає:

$$\nu_n = \frac{1}{2\kappa_u \omega_\varphi \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} - \frac{1}{2}\right)} \left[2 \left(\frac{\kappa_x \alpha_F \nu \rho_1}{\rho_2} + \kappa_x \alpha_F \nu \right) + \kappa_u \omega_\varphi \right]^2 - 8\kappa_u \omega_\varphi \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} - \frac{1}{2} \right) \left(2\kappa_x \alpha_F \nu - \kappa_u \omega_\varphi \right) \right]^{0,95} - 2 \left(\frac{\kappa_x \alpha_F \nu \rho_1}{\rho_2} + \kappa_x \alpha_F \nu \right) + \kappa_u \omega_\varphi, \quad /2/$$

де κ_u - інерційна компонента коефіцієнту опору; ω_φ - швидкість фільтрування шару, яка відноситься до входу газу в шар; ρ_1 - відношення висоти шахти між зонами до товщини шару в напрямку руху основного потоку газу; ρ_2 - відношення площі прохідного перерізу в шарові для основного потоку газу до площі поперечного перерізу шахти; κ_x - константа Козені-Кармана, α_F - питома поверхність частин шару; ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості газу.

Розрахунковий аналіз формули /2/ показав, що частка газу, яка перетікає, не залежить від фізичних характеристик газу та матеріалу, температури процесу та швидкості газу на вході в шар. Величина ν_n залежить тільки від конструктивних характеристик реактора, що дозволяє спростити формулу /2/ та подати її в та-

кому вигляді:

$$u_n = \left[\rho_2 (2\rho_1 - \rho_2^2)^{0.5} - \rho_2^2 \right] / (\rho_1 - \rho_2^2) \quad /3/$$

У роботі показано адекватність формул /2/ и /3/ експериментальним даним. Встановлено, що при визначених конструктивних характеристиках реактору перетікаючого газу може становити величину, яка суттєво не впливає на розділені по зонах стадії відновлення.

В роботі запропоновано концепцію побудови математичних моделей шарових процесів технологічного використання конверторного газу. Запропонована концепція полягає в обчисленні трубок течії газу з наступним прорахуванням по їхньому об'єму температурних та концентраційних полів. Такий підхід дозволяє перетворити рішення просторової нестационарної задачі, в якій враховується зміни параметрів по чотирьох координатах /три просторові та часова/, в рішення двокординатної задачі, де зміни параметрів враховуються в часі і по одній криволінійній координаті, яка збігається з віссю симетрії трубки течії. Сукупність результатів розрахунків температурних та концентраційних полів для трубок течії створює просторову фізичну картину процесу, адекватну одержаної при рішенні чотирикординатної задачі. При цьому, порівнюючи із звичайним рішенням просторової задачі, на два порядки зменшуються вимоги до оперативної пам'яті ЕОМ, що розширює діапазон обчислювальної техніки, яка застосовується для цієї мети. Перехід від трьох просторових координат до однієї криволінійної в просторі спрощує також рішення задач тепло- та масообміну.

Математична модель розроблялася шляхом поступового рішення задач газодинаміки та тепломасообміну. При відновленні залізорудної сировини конверторним газом математична модель включає визначення швидкостей та траєкторій трубок течії газу, обчислення температурних та концентраційних полів процесу з врахуванням циклічності відновлення, непостійності витрати і складу газу, який подається в реактор, а також з врахуванням зміни теплофізичних та термохімічних властивостей газу і сировини в процесі нагріву та відновлення.

В разі допущення про ізотермічність та потенційність газового потоку, застосування яких обґрунтовано в роботі, задача газодинаміки зводиться до рішення рівняння Лапласа. При граничних умовах, які визначаються геометрією реактору, рішення одержано

методом власних функцій:

$$\psi = \omega_{\text{ср}} y + \sum_{n=1}^{\infty} \cos \mu_n x (A_{0n} e^{i\mu_n y} + B_{0n} e^{-i\mu_n y}) + \\ + \sum_{\kappa=1}^{\infty} \cos \rho_{\kappa} z (C_{0\kappa} e^{\rho_{\kappa} y} + D_{0\kappa} e^{-\rho_{\kappa} y}) + \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \cos \mu_n x \cdot \cos \rho_{\kappa} z (A_{n\kappa} e^{\lambda_{n\kappa} y} + B_{n\kappa} e^{-\lambda_{n\kappa} y}), \quad /4/$$

де ψ - потенціал швидкості газу; $\omega_{\text{ср}}$ - середня швидкість газу в реакторі; $\mu_n, \rho_{\kappa}, \lambda_{n\kappa}$ - власні числа; $A_{0n}, B_{0n}, C_{0\kappa}, D_{0\kappa}, A_{n\kappa}, B_{n\kappa}$ - коефіцієнти ряду.

З урахуванням відсіву малозначних факторів та допущень, що докладно обґрунтовано в роботі, рішення задач тепло- та масообміну звелось до рішення відповідних систем рівнянь, які записані по довжині траєкторії трубки течії δ^* :

$$\left\{ \begin{array}{l} C_r \rho_r \omega_r \delta^* \frac{\partial t_r}{\partial \delta^*} = -\alpha_v (t_r - t_M); /5/ \\ C_M^* \rho_M \frac{\partial t_M}{\partial \tau} = \alpha_v (t_r - t_M); /6/ \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \omega_r \delta^* \frac{\partial C_{r\kappa}}{\partial \delta^*} = \pm m_p; /7/ \\ \frac{\partial C_{M\kappa}}{\partial \tau} = \pm m_p; /8/ \end{array} \right.$$

де $C_r, \rho_r, \omega_r, \delta^*, t_r$ - теплоємність, густина, швидкість та температура газу; α_v - коефіцієнт тепловіддачі; C_M^*, ρ_M, t_M - уявна теплоємність, густина шару та температура матеріалу; $C_{r\kappa}, C_{M\kappa}$ - концентрації компонентів газу та матеріалу, які змінюються при відновленні; m_p - потужність джерела масовиділення в результаті реакції відновлення.

Система рівнянь /5/ і /6/ розв'язувалася методом кінцевих різниць за схемою бігучого рахунку на чотирьохточковому шаблоні, а рішення системи рівнянь /7/ і /8/ з урахуванням реакції відновлення $\text{FeO} + \text{CO} \rightleftharpoons \text{Fe} + \text{CO}_2$, яка визначає хід процесу, опержано у вигляді виразу для кінцевої концентрації CO_2 в газі, який в інтервалі поділу координатних параметрів процесу згідно з кінцевою різницевою схемою розрахунку, має такий вигляд:

$$[CO_2]_{i,j,t} = 1 / (1 + \bar{k}_{i,j}) \left\{ \sum^* - [CO]_{i,j} - \bar{k}_{i,j} [CO_2] \right\} \times \exp \left(- \frac{2(1 + \bar{k}_{i,j}) K_{\Sigma,i,j} a_r \delta_i^*}{w_r \delta^*_{i,j}} \right), \quad 19/$$

де \bar{k} - константа рівноваги реакції; \sum^* - сума концентрацій CO та CO_2 в газі; K_{Σ} - сумарний коефіцієнт масообміну.

Зі зміною концентрації CO_2 в газі визначалась кількість кисня, який віднімався від залізородної сировини, а за кількістю віднятого кисню визначалась ступінь відновлення сировини.

В результаті дослідження тепло- та масообміну при використанні математичної моделі встановлено ряд особливостей процесу відновлення залізородної сировини конверторним газом. Відновлення високотемпературним газом можливо в інтервалі температур 700-1000°C, а відновлення охолодженим газом після часткового згоряння доцільно тільки при температурах 700-800°C. Попередній підігрів сировини при відновленні високотемпературним газом призводить до скорочення тривалості циклу відновлення на одну продувку, а при відновленні охолодженим газом після часткового згоряння практично не впливає на хід процесу. Максимальна ступінь використання CO при відновленні високотемпературним газом складає до 37 % при середній величині за цикл продувок близько 20 %, а при використанні охолодженого газу, відповідно, до 30 % та 15 %. Моделювання процесу відновлення газом, який відводиться із конвертора з невеликими підсосами повітря, що має місце в діючих киснево-конверторних цехах внаслідок недосконалості системи відведення газу з конвертору без допалювання, показало, що використання такого газу в цілому не змінює характер циклічного процесу відновлення, але ефективність відновлення знижується в 1,5-2 рази в порівнянні з відновленням газом, який відводиться без підсосів повітря.

У роботі запропоновано конструктивну схему реактора-відновлювача та розроблено порядок його розрахунку. На основі результатів досліджень тепло- та масообміну при відновленні залізородних окатишів конверторним газом визначена продуктивність реактору.

Таким чином, в результаті експериментально-теоретичних досліджень розроблено основи технології процесу відновлення залізорудної сировини конверторним газом, одержано характеристики процесу і запропоновано його конструктивне оформлення, що дозволяє виконати проектно-конструкторські розробки та техніко-економічну оцінку системи використання конверторного газу для відновлення залізорудної сировини.

3. Розробка та дослідження системи використання конверторного газу для випалу вапняку

Аналіз проблеми, яка зв'язана з використанням конверторного газу для випалу вапняку, показав, що випал вапняку конверторним газом створює передумови для забезпечення киснево-конверторного виробництва вапном, або, по крайній мірі, ліквідації його дефіциту в галузі при виплавці конверторної сталі. В результаті використання конверторного газу для випалу вапняку, поряд із значною економією паливно-енергетичних ресурсів галузі внаслідок зменшення виробництва вапна в звичайних вапнякововипалювальних печах, можлива розробка оригінальної технології випалу, що включає одержання достатньо активного озалізованого конверторним винесенням вапна з наступною подачею його в конвертор в свіжовипаленому та нагрітому стані.

Дослідно-промислове випробування випалу вапняку конверторним газом в киснево-конверторному цеху на заводі ім.Петровського з наступним використанням продукту випалу безпосередньо в цеху для виплавки сталі привело до поліпшення ряду технологічних показників киснево-конверторного процесу /до скорочення тривалості продувки на 0,8-3,1 %, збільшення виходу придатного на 0,2-1,4%, зниження вмісту в сталі сірки на 5,4-20,5 % та фосфору на 3,7 - 34,8 %/, що підтвердило доцільність розробки технології випалу вапняку конверторним газом.

Аналіз процесу випалу вапняку конверторним газом виконаний на основі матеріального та теплового балансів випалу з урахуванням інтенсивності теплообміну в шарі та кінетики дисоціації в кузені показав, що технологія випалу вапняку конверторним газом представляється у вигляді синхронізованого з випалкою сталі циклу, який включає згідно з виходом газу із конвертора і від продувок та чергування їх з паузами міжпродувних періодів.

Періодична подача газу в шар випалювального вапняку в порівнянні з неперервною подачею може внести суттєві корективи в хід процесу внаслідок впливу пауз міжпродувних періодів, що необхідно враховувати при розробці систем використання конверторного газу для випалу вапняку. Відомості про експериментальні дослідження випалу з періодичною подачею газу в літературі відсутні. В зв'язку з цим була збудована спеціальна збільшена лабораторна установка, яка забезпечила можливість дослідження такого процесу.

Випал здійснювали продуктами згоряння природного газу, а шар випалювального вапняку розміщували в шахтній печі установки на колосниковій решітці. При проведенні дослідів, крім інших параметрів випалу, вимірювали температури окремих кусків вапняку, які були оброблені в форму кулі і рівномірно розміщені в об'ємі шару вапняку при його закладці в шахту печі експериментальної установки. Діаметри куль відповідали еквівалентним діаметрам /20 та 30мм/ фракцій вапняку, які завантажувались в піч. Спад термомар вводили в центр кусків, на відстані половини радіуса від центру, а також закріплювали на поверхні кусків. Для порівняння результатів періодичного випалу виконували також випал при неперервній подачі продуктів згоряння. Відбір проб на аналіз продукту випалу здійснювався на різних рівнях шахти печі /верхньому, середньому та нижньому/, положення яких визначалося рівнем розміщення вимірювальних кусків.

При випалюванні з періодичною подачею газу тривалість кожної з продувок становила 15 хв., тривалість пауз міжпродувочних періодів - 15 і 30 хв. Пауза, яка тривала 30 хвилин, орієнтовно відповідає тривалості міжпродувочного періоду конверторної плавки, а пауза 15 хв. прийнята в розрахунку на режим роботи випалювального ректора при поступовому надходженні в нього газу від двох працюючих конверторів цеху. Досліди виконані також при різних витратах газу-теплоносія.

Для оцінки впливу кількості продувок на показники випалу досліди проведені в три серії, які включали, відповідно, режими, що склалися з 9, 7 і 5 продувок. При неперервних режимах випалу тривалість подачі газу відповідала сумарній тривалості продувок періодичної подачі.

В результаті експериментального дослідження випалу з періодичною подачею газу в шар вапняку встановлено, що періодичний випал в шарі також, як і неперервний, забезпечує достатньо високу ступінь випалу одержуваного продукту /до 95,6 - 98,6%/. При цьо-

му розвиток процесу в окремих кусках і в цілому по шару відбувається аналогічно неперервному випадлу з адекватною неперервному випадлу реакцією на змінення параметрів газового потоку. Періодичний випад, якщо порівнювати з неперервним, дає деяку перевагу при випалі низькотемпературних ділянок нерівномірно нагрітого шару за рахунок притоку в них теплоти під час пауз міжпродувних періодів з високотемпературних ділянок шару. Причому стік теплоти від високотемпературних ділянок шару компенсується тут більш інтенсивним теплообміном під час продувок і в результаті практично не впливає на показники випадлу. Вплив пауз міжпродувного періоду по мірі наближення процесу до завершення ослаблюється і при достатньо глибокому розвитку процесу паузи практично не впливають на кінцевий результат випадлу.

В результаті експериментальних досліджень одержано залежності швидкості просування фронту дисоціації w_d в кусені від його температури і теплообміну між газом та шаром випалювального вапняку:

$$w_d = 0,1307 (t/1000)^{3,656}, \quad N_u = 0,1293 Re^{0,911}, \quad /10,11/$$

які використані в математичній моделі процесу.

Крім цього, експериментально встановлено більш високу активність одержаного вапня, в результаті випадлу при періодичній подачі газу в порівнянні з неперервним випадлом.

При оцінці пилсуловлюючої здатності шару випалюваного вапняку встановлено, що ступінь уловлення пилу шаром складає до 72 - 78 % при відсутності суттєвих порушень в газодинаміці шару.

Математичну модель процесу випадлу вапняку конверторним газом розроблено на основі запропонованої в роботі загальної концепції побудови математичних моделей шарових процесів технологічного використання конверторного газу і включає визначення швидкостей та трубок течії газу, обчислювання температурних полів та розподіл ступені випадлу при багаторазовій продувці шару вапняку в умовах змінних витрат газу, теплофізичних властивостей матеріалу та газу, а також з врахуванням дискиду вуглецю, який виділяється в процесі випадлу.

Рішення задачі газодинаміки, яке визначає потенціал швидкості газу в випалювальному реакторі, одержано аналогічно рішен-

ню /4/. Температурні поля визначалися шляхом рішення системи рівнянь /5/ і /6/ в кінцево-різницевій формі.

Ступінь випалу згідно з прийнятою кінцево-різницевою схемою розрахунку визначалась виразом:

$$\varepsilon_{i+1, j+1} = 1 - (\gamma_{k, i, j} - \omega_{\partial, i, j} \tau_i)^3 / R_k^3, \quad /12/$$

в якому R_k та $\gamma_{k, i, j}$, відповідно, середній еквівалентний радіус фракцій випалювального вапняку і радіус, який характеризує положення фронту дисоціації в кусені вапняку в момент часу τ_i . Швидкість просування фронту дисоціації $\omega_{\partial, i, j}$ визначалась за формулою /10/.

Вираз для коректування швидкості газу внаслідок виділення CO_2 в процесі випалу і приєднання його до газового потоку одержано в рівняння нерозривності газового потоку і в кінцево-різницевій формі має вигляд:

$$\omega_{r, i+1, j} = \omega_{r, i, j} + \Pi_{\text{всх}} (\varepsilon_{i+1, j} - \varepsilon_{i, j}) h_j^* / (\rho_{\text{CO}_2} \tau_i), \quad /13/$$

де $\Pi_{\text{всх}}$ - маса, яка відповідає вихідній величині втрат при прогартовуванні вапняку; h_j^* - довжина дуги елементарної ділянки траєкторії трубки течії; ρ_{CO_2} - густина CO_2 .

В роботі одержано, а потім використано при розробці математичної моделі рішення задачі тепломасообміну, яке забезпечує коректування температурних полів та розподіл ступені випалу внаслідок дисоціації вапняку та теплопровідності шару при його адіабатній витримці в міжпродувочний період, що відображає рівняння теплопровідності шару в такому вигляді:

$$c_m \rho_m^* \frac{\partial t_m}{\partial \tau} = \lambda_{\text{эф}} \frac{\partial^2 t_m}{\partial h^2} - q(h), \quad /14/$$

де другий член в правій частині рівняння враховує теплопоглинання при дисоціації вапняку під час його витримки в міжпродувочний період, а $\lambda_{\text{эф}}$ - ефективний коефіцієнт теплопровідності шару випалювального вапняку.

До розв'язку рівняння /14/ застосовувався двостадійний підхід. На першій стадії враховувався тільки фактор теплопоглинання від дисоціації вапняку, а вираз для розподілу температур

матеріалу при рішенні задачі на цій стадії одержано в такому вигляді:

$$t'_{\text{ММП}}(h) = t'_{\text{ММА}}(h) - \frac{q(h)}{c_m \rho_m} \tau, \quad /15/$$

де $t'_{\text{ММА}}(h)$ – розподіл температури матеріалу по висоті шару h на початку міжпродувного періоду.

Вираз /15/ є початковою умовою для другої стадії рішення задачі, в якій методом розподілу змінних розв'язувалося рівняння теплопровідності шару. Рішення на другій стадії має вигляд:

$$t_m(h, \tau) = \bar{t}_{\text{ММП}} + [t'_{\text{ММП}}(h) - \bar{t}_{\text{ММП}}] \exp(-\gamma^2 a_{\text{эф}} \tau), \quad /16/$$

де $\bar{t}_{\text{ММП}}$ – середня за висотою шару температура матеріалу на початку міжпродувного періоду /в кінці продувки/; $a_{\text{эф}}$ – ефективний коефіцієнт температуропровідності шару.

Після підстановки виразу /15/ в рівняння /16/ рішення рівняння /14/ приймає кінцевий вигляд:

$$t_m(h, \tau) = \bar{t}_{\text{ММА}} + [t'_{\text{ММА}}(h) - \bar{t}_{\text{ММА}} - \frac{q(h)}{c_m \rho_m} \tau] \exp(-\gamma^2 a_{\text{эф}} \tau). \quad /17/$$

Швидкість просування фронту дисоціації, яка залежить від температури, визначалась згідно з розподілом температури матеріалу за висотою шару $w_d = f [t'_{\text{ММА}}(h)]$. Змінювання ступені випалу в міжпродувочний період визначалося за формулою /II/, а величина теплового ефекту реакції $q(h)$ визначалась згідно із зміною ступені випалу.

Шляхом порівняння одержаних від математичного моделювання результатів з експериментальними даними показало адекватність розробленої математичної моделі реальному процесу та можливість використання її для моделювання процесу в масштабах промислової установки. Так, середнє за висотою шару розходження дослідних і розрахункових даних за температурою матеріалу становить 6,4 %, а за ступеню випалу – 6,6 %.

Дослідження процесу при використанні розробленої математичної моделі виконано для режимів випалу з температурою газу на вході в шар $1000+1300^{\circ}\text{C}$ та швидкістю фільтрації газу через шар $0,5+2,0$ м/с, що цілком достатньо охоплює характеристики газового потоку при випалі вапняку в шахтних печах і таким чином дозволяє представити розглянутий процес на всьому інтервалі параметрів шарового випалу вапняку, які прийняті на практиці.

Аналіз процесу виконано при випалі нерухомого та протікового дискретно-переміщувального шару. При випалі в нерухомому шарі найіюльш ефективний режим випалу /за продуктивністю процесу та ступеню використання теплоти газу/ відповідає початковій температурі газу 1200°C та швидкості газу близько 1 м/с. При випалі в дискретно-переміщувальному шарі максимальна продуктивність випалу встановлена при температурах газу на вході в шар $1100-1200^{\circ}\text{C}$ та швидкостях газу $1,00+1,25$ м/с. Встановлено також, що при спільному використанні фізичної теплоти та хімічної енергії конверторного газу можливо повне забезпечення киснево-конверторного процесу вапном. При використанні хімічної енергії газу одержано вапно може скласти основну частину споживання вапна при виплавці конверторної сталі, а при використанні тільки фізичної теплоти газу вироблене вапно може значно компенсувати його дефіцит в конверторному виробництві.

Таким чином, в результаті проведених експериментально-теоретичних досліджень розроблено основи технології випалу вапняку конверторним газом, одержано дані про продуктивність процесу і створено умови для його конструктивного оформлення, що дозволило виконати проектно-конструкторські розробки та техніко-економічне обґрунтування системи використання конверторного газу для випалу вапняку.

4. Розробка та дослідження системи використання конверторного газу для нагріву металолому

Використання конверторного газу для нагріву металолому створює передумови для рекуперації максимальної кількості теплоти газу в конвертор з нагрітими шихтою, так як частка лому в твердій шихті киснево-конверторної плавки найбільш вагома в порівнянні з іншими компонентами шихти.

Оцінка енергетичного потенціалу конверторного газу, яка ви-

кована за результатом обчислення очікуваних від спалення газу в процесі нагріву лому теплових потужностей і на основі спільного рішення рівнянь теплових балансів процесу нагріву лому та конверторного процесу, показала можливість нагріву конверторним газом маси лому, яка складає значну частку від маси металошихти конверторної плавки. За результатами розрахунків частка лому в металошихті, яка без підігріву лому становить максимум 25+30 %, може бути збільшена в результаті нагріву лому конверторним газом на 7,3+18,5 % в залежності від варіанту нагріву і скласти, відповідно, до 32,3+48,5 % маси металошихти.

Теплотехнічний аналіз процесу нагріву металолому конверторним газом, виконаний для запропонованих в роботі технічних рішень, які включають одно-, дво- та трьохстадійну теплову обробку металолому конверторним газом, показав такі результати.

При нагріві лому за одностадійною схемою в шаровому підігрівачі, який розміщується безпосередньо над конвертором, температура нагріву лому в залежності від конструктивних характеристик підігрівача може скласти до 675 – 990°C. З врахуванням величини надлишкової теплоти конверторного процесу одностадійний нагрів дозволяє збільшити частку лому в металошихті до 37,1 – 39,3 %.

При двостадійному нагріві лому, який включає в якості другої стадії витримку лому в камері томління і додатковий його нагрів від випромінювання розігрітої під час продувки кладки камери томління, частка лому в металошихті киснево-конверторної плавки в порівнянні з одностадійним нагрівом збільшується на 2,6 – 6,9 %.

В результаті розрахункового аналізу трьохстадійного нагріву лому, який включає в якості останньої стадії теплової обробки розплавлення лому, встановлена доцільність розплавляти конверторним газом лом з розмірами кусків не більше 50 мм, а великокусковий лом подавати в конвертор в твердому стані, що з врахуванням розплаву дозволяє довести масу лому в металошихті киснево-конверторної плавки до 50 %.

Систематизація технічних рішень та їх аналіз дозволили сформулювати основні концепції при розробці системи використання конверторного газу для нагріву металолому, які включають положення: підігрівач лому доцільно розмістити на паралельній за відношенням до газовідвідного тракту конвертора ділянці газоходу /байпасі/; для подачі конверторного газу в підігрівач лому найбільш прийнятне застосування ежекторної системи; підігрів лому доцільно здій-

сшивати в переобладнаних совках, які використовуються для транспортування та завантаження лому в конвертор.

Задача експериментальних досліджень полягала в оцінці ефективності нагріву металолому в завантажувальному совці при різних варіантах подачі та відведення газу і одержанні експериментальної залежності, яка визначає інтенсивність теплообміну в шаровому режимі нагріву металолому.

Підігрівач експериментальної установки виконано у вигляді футерованої камери. Корпус підігрівача обладнано газоходом для подачі та відведення газу-теплоносія, в якості якого використовували продукти згоряння природного газу. Совок з ломом розміщувався на подині камери підігрівача. В корпусі совка виконано отвори, які збігаються при розміщенні совка на подині, з отворами відповідних та відповідних газоходів в камері підігрівача. Витрати природного газу в досліді приймали еквівалентними тепловиділенням від спалення 25+100 % виділеного з конвертору газу, в розрахунок на одиницю маси лому. Для дослідів використовували куковий лом довільної форми. Середньомасова температура нагрітого лому в совці визначалася балансовим методом.

В результаті експериментальних досліджень нагріву металолому в завантажувальному совці, які виконані для трьох варіантів подачі газу в совок з ломом /верхній, нижній, торцевий/ та двох варіантів відводу газу /верхній і торцевий/ встановлено, що нагрів металолому в завантажувальному совці забезпечує достатньо високу температуру нагріву при всіх варіантах комбінацій подачі та відведення газу, а також можливість регулювання температури нагріву лому шляхом зміни витрати газу. При однакових витратах газу температура нагрітого лому в умовах експериментальної установки при різних варіантах комбінації подачі та відведення газу мали порівняно близькі значення. Однак, більш ефективною виявилася торцева подача газу, а менш ефективна – верхня. Серед способів відведення газу більш ефективним показав себе торцевий відвід газу в порівнянні з верхнім. Величина теплового к.к.д. нагріву в значній ступені залежить від температури нагріву лому, з підвищенням якої тепловий к.к.д. зменшується. При високих температурах нагріву, які відповідають більш інтенсивній подачі газу, на величину теплового к.к.д. більш відчутний вплив способу подачі газу, а при низьких температурах – способу його відведення. У відношенні угару металолому більш переважними представляються

температури нагріву лому до 1000°C , які забезпечують достатньо велику кількість акумульованої ломом теплоти, при відносно мінімальном угарі металу.

В результаті експериментального дослідження нагріву лому в завантажувальному освіці одержано: рівняння подібності теплообміну між газом та шаром лому і залежність інтенсивності угару металу від температури нагріву лому:

$$\alpha_n = 0,1668 Re^{0,621}, \quad \gamma_n = 0,0151(t_2/1000)^{5,901} \quad /18,19/$$

де γ_n - інтенсивність угару, яка відноситься до площі поверхні металолому.

Одержані залежності використані при розробці математичної моделі нагріву лому.

В основу математичного моделювання процесу нагріву металолому конверторним газом покладені принципи математичного моделювання, аналогічні моделюванню процесів відновлення залізорудної сировини та випалу вапняку, тобто на основі фільтраційної моделі шарового процесу і з урахуванням вищевикладеної концепції по обчислюванню теплообміну за об'ємом трубок течії газу. Математична модель включає опис газодинаміки та теплообміну, який зроблено для різних варіантів подачі та відведення газу в совок з ломом і забезпечує обчислення швидкостей газу, траєкторій трубок течії газу та температурних полів в умовах змінних витрат газу, теплофізичних властивостей металолому і газу та з урахуванням теплоти від угару металу.

Особливістю рішення задачі газодинаміки при нагріві металолому конверторним газом є багатоваріантність подачі та відведення газу в совок з ломом що вносить різницю в граничні умови при постановці задачі і відповідно відображається на результатах її рішення. В зв'язку з цим, в залежності від комбінації способів подачі та відведення газу, варіанти нагріву лому розділені на три групи, які включають, відповідно, розміщення отворів подачі та відведення газу в одній площині огороження камери нагріву, яка має форму паралелепіпеду, розміщення цих отворів у суміжних площинах та розміщення отворів на протилежних площинах камери нагріву.

Рішення задачі газодинаміки з одностороннім та протилежним розміщенням отворів подачі та відведення газу в камері нагріву

аналогічно рішенню /4/. При суміжному розміщенні отворів подачі та відведення газу, в зв'язку з громіздкістю рішення задачі газодинаміки по всьому робочому об'єму сопла, доцільним являлося одержання рішення шляхом розподілу робочого об'єму сопла на дві частини площиною нормальною до його поздовжньої віссі і наступне рішення задачі по областях:

$$\begin{aligned} \psi_1 = & \sum_{n=1}^{\infty} \cos \mu_n y \cdot A_{no} (e^{\mu_n z} + e^{-\mu_n z}) + \sum_{\kappa=1}^{\infty} \cos p_{\kappa} x \cdot C_{\alpha\kappa} (e^{p_{\kappa} z} + e^{-p_{\kappa} z}) + \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \cos \mu_n y \cdot \cos p_{\kappa} x \cdot A_{n\kappa} (e^{\lambda_{n\kappa} z} + e^{-\lambda_{n\kappa} z}) + \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} \cos q_n z \cdot A_{1n} (e^{q_n y} + e^{-q_n y}) + \sum_{\kappa=1}^{\infty} \cos p_{\kappa} x \cdot C_{1\kappa} (e^{p_{\kappa} y} + e^{-p_{\kappa} y}) + \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \cos q_n z \cdot \cos p_{\kappa} x \cdot C_{1n\kappa} (e^{\lambda_{n\kappa}^* y} + e^{-\lambda_{n\kappa}^* y}); \quad /20/ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_2 = & W_{r\phi} y + \sum_{n=1}^{\infty} \cos q_n z (A_{1n}^* e^{q_n y} + B_{1n} e^{-q_n y}) + \\ & + \sum_{\kappa=1}^{\infty} \cos p_{\kappa} x (C_{1\kappa}^* e^{p_{\kappa} y} + D_{1\kappa}^* e^{-p_{\kappa} y}) + \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \cos p_{\kappa} x \cdot \cos q_n z (C_{n\kappa}^* e^{\lambda_{n\kappa}^* y} + D_{n\kappa}^* e^{-\lambda_{n\kappa}^* y}). \quad /21/ \end{aligned}$$

Рішення /20/, яке одержано для першої частини розділеного об'єму, із сторони входу газу, при відповідних цій частині об'єму граничних умовах зрощувалось потім з рішенням для другої частини об'єму /21/ із сторони виходу газу, при відповідних цій частині об'єму граничних умовах.

Умовами зрощування рішень явилися рівність потенціалів швидкості $\psi_1 = \psi_2$ в площині розподілу об'ємів і рівність нормальних похідних потенціалів $\frac{\partial \psi_1}{\partial y} = \frac{\partial \psi_2}{\partial y}$ в цій площині. Такий підхід дозволяє одержати аналітичне рішення задачі в більш простій фор-

мі для обчислення без деяких викривлень, в порівнянні з рішенням, які отримані для всього об'єму шару.

Температурні поля визначалися шляхом вирішування системи рівнянь /5/ і /6/ аналогічно попереднім моделям. Тепловиділення від угару металу враховувались в уявній теплємкості металолому, для якої величина тепловиділень визначалась згідно з інтенсивністю угару, яка обчислювалась за формулою /19/.

Адекватність розробленої математичної моделі реальному нагріву лому перевірена шляхом порівняння результатів розрахунку з результатами обробки експериментальних даних за середньомасовими температурами лому в совні. Розходження експериментальних та розрахункових даних становило в залежності від варіанту подачі та відведення газу в межах 3,3+8,2 % при середньому розходженні в цілому за всіма варіантами менше 5 %, що вказує на високу результативність розробленої математичної моделі, можливість її ефективного використання для аналізу теплової роботи підігрівача металолому та прогнозування очікуваної температури нагріву лому конверторним газом.

Дослідження підігрівача з використанням математичної моделі виконано при нагріві лому для 250-тонного конвертора з двосовковим завантажуванням в нього лому /об'єм одного совка 65 м³/. Конструктивні характеристики підігрівача прийняті за проектно-конструкторськими розробками, які зв'язані з проектуванням киснево-конверторного цеху металургійного комбінату "Запоріжсталь".

Обумовлені інтервали змінення вхідних температур і швидкостей газів в підігрівачі дозволили виконати оцінку теплової ефективності нагріву металолому конверторним газом при різних варіантах використання енергії газу, які включають окреме та спільне використання фізичної теплоти і хімічної енергії газу при різних кількостях конверторного газу, відведеного з газовідвідного тракту конвертора на нагрів металолому.

В результаті досліджень із застосуванням математичної моделі нагріву металолому конверторним газом в промисловому варіанті виконання процесу встановлено, що температура нагрітого лому при використанні тільки фізичної теплоти конверторного газу в залежності від способу подачі газу в совок з ломом, може скласти до 400-590°C, а при використанні хімічної енергії газу - до 720+1030°C. Тепловий к.к.д. нагріву в найбільш ефективних режимах складає до 40+70 %.

В якості найбільш ефективних способів подачі газу в со-
вок з ломом встановлені торцева та нижня подачі в сполучен-
ні з торцевим відведенням газу. Деякі інші менш ефективні ці самі
варіанти подачі газу в сполученні з верхнім відведенням газу.
Найменш ефективним встановлено варіант з верхньою подачею та
верхнім відведенням газу, але ефективність верхньої подачі газу
збільшується в комбінації з торцевим відведенням газу.

Таким чином, проведена комплекс експериментально-теоретич-
них досліджень дозволяє сформулювати конструктивні концепції на-
гріву металому конверторним газом, зробити вибір найбільш ефек-
тивного варіанту нагріву лому, здійснити конструювання підігрівача
та прив'язку його до газовідвідного тракту конвертора, а в ре-
зультаті прийняти проектні рішення та виконати техніко-економічну
оцінку системи використання конверторного газу для нагріву мета-
лому.

5. Проектно-конструкторські рішення та техніко-економічна ефективність системи технологічного використання конверторного газу

Проектно-конструкторські рішення та техніко-економічні роз-
рахунки виконано спільно з інститутами НДІ Чорметенергоочистка
/НПО "Енергосталь"/ та Укрдіпрометзом.

По використанню конверторного газу для відновлення залізо-
рудної сировини найбільш докладно пророблено два основних варіан-
ти, які включають, відповідно, використання високотемпературного
конверторного газу /до газоочистки/ та охолодженого конвертор-
ного газу /після газоочистки/. По кожному з варіантів виконано
пророблення з односекційним реактором-відновлювачем та двосекцій-
ним реактором, який забезпечує, крім металізації залізорудної си-
ровини, виключення або зниження викидів CO в атмосферу з негорю-
чим конверторним газом.

В системі використання конверторного газу для випалювання
вапняку, по аналогії з відновленням залізорудної сировини, перед-
бачено розміщення випалювального реактора на високотемператур-
ній ділянці газовідвідного тракту конвертора та розміщення реак-
тора з можливістю використання охолодженого конверторного газу
після газоочистки. В першому варіанті припускається використову-
вання тільки фізичної теплоти конверторного газу, а в другому -
хімічної енергії газу шляхом спалення газу перед подачею в шар
вапняку.

Система використання конверторного газу для нагріву металолому включає варіанти з розміщенням підігрівача лому в конверторному відділенні цеху та в скрапному відділенні.

Техніко-економічний аналіз систем технологічного використання конверторного газу виконано для умов металургійного комбінату "Запоріжсталь" в порівнянні з використанням фізичної теплоти конверторного газу для виробництва пару в ОКГ та в порівнянні з схемою "ОКГ-газгольдер".

В результаті техніко-економічного порівняння встановлено, що варіанти технологічного використання конверторного газу вимагають значно менших капітальних витрат на спорудження установок, ніж газгольдерні установки. Так, наприклад, капітальні затрати на спорудження системи використання конверторного газу для відновлення залізорудної сировини порівнюючи із спорудженням газгольдерів нижче, в залежності від варіанту системи, в 2,7-5,2 разу, для випалу вапняку - в 3,1-5,2 разу, а для нагріву металолому - в 7,3-8,2 разу. Експлуатація систем технологічного використання конверторного газу відрізняється в порівнянні з експлуатацією газгольдерних установок значно меншими витратами енергоносіїв.

За всіма розглянутими варіантами систем технологічного використання конверторного газу встановлено зниження експлуатаційних та приведених затрат в порівнянні з базовими варіантами енергетичного використання конверторного газу. При використанні конверторного газу для відновлення залізорудної сировини в залежності від варіанту порівняння зниження експлуатаційних затрат складає 791+9170 тис.крб. в рік, а зниження приведених затрат, відповідно, - 1882-3777 тис.крб. Зниження експлуатаційних та приведених затрат при випалі вапняку складає, відповідно, - 1034+10763 тис.крб. і 2186+10290 тис.крб., а при використанні конверторного газу для нагріву металолому, відповідно, - 9820+24714 тис.крб. і 10769+24857 тис.крб.

В розрахунках вартість обладнання, ціни на сировину та енергоносії, а також інші витрати прийняті на рівні 1991 р., тобто на рівні останніх фіксованих державних цін. В роботі показано, що подальше, після 1991 р., зміна в цінах залишає тенденцію до більш високої економічної ефективності технологічного використання конверторного газу в порівнянні з енергетичними варіантами його використання.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

1. В результаті аналізу проблеми використання конверторного газу, характеристик виходу газу та виходячи з потреби в шихті киснево-конверторного процесу в роботі виділено три напрямки технологічного використання конверторного газу: для відновлення залізорудної сировини, випалу вапняку та нагріву металолому.

2. Сформульовано основні положення технології відновлення залізорудної сировини конверторним газом: встановлено характер та тривалість процесу, очікуваний вихід металізованого продукту, ступінь використання CO конверторного газу, переважні температурні інтервали відновлення при різних варіантах реалізації процесу.

3. Експериментально на збільшеній лабораторній установці при відновленні залізорудних окатишів підтверджено можливість практично повного використання невеликих вмістів CO в газі в процесі відновлення при відповідних температурних умовах та надлишку гематиту в сировині за відношенням до його стехіометричної величини в процесі. Одержано експериментальні дані, які дозволяють розрахувати витрати окатишів та визначити температурні умови процесу відновлення з використанням невеликих концентрацій CO в газі, а також визначити робочий об'єм реактора для очистки газу від негорючих концентрацій CO.

4. Сдержано експериментальну залежність по теплообміну між газом та шаром залізорудних скатишів у двозонному реакторі з перехресною течією матеріалу та газу. Запропонований вид рівняння теплообміну, який дозволяє враховувати вплив на інтенсивність тепловіддачі перетоків газу від однієї зони в інше через шар шихти, минаючи газоходи. Виведено залежність для розрахунку кількості перетікаючого газу і показано адекватність залежності експериментальним даним.

5. Запропоновано концепцію побудови математичної моделі шарових процесів технологічного використання конверторного газу. При відновленні залізорудної сировини математична модель включає визначення швидкостей та траєкторій трубок течії газу, обчислення температурних та концентраційних полів процесу з врахуванням циклічності відновлення, нестійкості витрати та складу газу, який подається в реактор, а також з врахуванням зміни теплофізичних та термохімічних властивостей газу і залізорудної сировини в процесі нагріву та відновлення.

6. В результаті дослідження тепло- та масообміну з використанням математичної моделі встановлено закономірності процесу відновлення залізорудної сировини конверторним газом, запропоновано конструктивну схему реактора-відновлювача та порядок його розрахунку. На основі результатів досліджень визначено продуктивність реактора за металізованою сировиною.

7. Розроблено методику теплотехнічного та термохімічного аналізу процесу випалу вапняку конверторним газом, в результаті застосування якої сформульовано основи технології процесу. Випалювання вапняку конверторним газом представлено у вигляді синхронізованого з випалкою сталі циклу, який включає, відповідно з виходом газу з конвертора, ряд продувок шару вапняку газом та чергування їх з паузами міжпродувних періодів.

8. Сформульовано позитивні сторони процесу періодичного випалу вапняку конверторним газом, що сприяє розробці оригінальної технології випалу, яка включає одержання активної і овалізеної конверторним винесенням вапня з наступною подачею його в конвертор у свіжообпаленому та нагрітому стані. Дослідно-промислове випробування випалу вапняку конверторним газом в діючому киснево-конверторному цеху з наступним використанням продукту випалу безпосередньо в цеху для виплавки сталі привело до поліпшення ряду технологічних показників киснево-конверторних плавок.

9. Експериментально вивчені особливості циклічного процесу випалу вапняку з періодичною подачею газу-теплоносія. Одержано експериментальні залежності швидкості просування фронту дисоціації в кусці вапняку від його температури та теплообміну між газом і шаром випалюваного вапняку.

10. Розроблено математичну модель процесу випалу вапняку конверторним газом, яка описує газодинаміку і тепломасообмін при випалюванні та включає визначення швидкостей і траєкторій трубок течії газу, обчислення температурних полів та розподіл ступені випалу при багаторазовій продувці шару вапняку в умовах змінних витрат газу, теплофізичних властивостей матеріалу та газу і з врахуванням диоксида вуглецю, який виділяється в процесі випалу. В роботі одержано і використано в математичній моделі рішення задачі тепломасообміну, яке забезпечує коректування температурних полів та розподіл ступені випалу внаслідок дисоціації вапняку і теплопровідності шару при його адіабатній витримці в міжпродувочні періоди. Шляхом порівняння одержаних від математичного моделю-

вання результатів з експериментальними даними показано адекватність розробленої математичної моделі реальному процесу випалу і можливість її використання для моделювання процесу в масштабах промислової установки.

11. Дослідження тепло- та масообміну з використанням математичної моделі виконано для умов випалу вапняку в нерухомому та протитоковому дискретно-переміщувальному шарі. Встановлено закономірності та переважні режими випалу вапняку конверторним газом.

12. Розроблено методику теплотехнічного аналізу і сформульовано конструктивні концепції процесу нагріву металолому конверторним газом.

13. Експериментально вивчено процес нагріву металолому в завантажувальному совці при різних комбінаціях варіантів подачі та відведення газу. Одержано експериментальну залежність інтенсивності угару металолому в процесі нагріву лому від температури нагріву.

14. Розроблено математичну модель процесу нагріву металолому при різних варіантах подачі та відведення газу в совок з ломом, яка включає обчислення швидкостей газу, траєкторій трубок течії газу та температурних полів в умовах перемінних витрат газу, теплофізичних властивостей металолому та газу і з врахуванням теплоти від угару металу, яка виділяється в процесі нагріву лому. Шляхом порівняння одержаних від математичного моделювання результатів нагріву з експериментальними даними показано адекватність розробленої моделі реальному процесу нагріву лому.

15. В результаті досліджень нагріву металолому конверторним газом з використанням математичної моделі в промисловому варіанті виконання процесу визначено особливості нагріву металолому в завантажувальних совках при різних варіантах подачі та відведення газу. Встановлено найбільш ефективні варіанти нагріву лому.

16. Техніко-економічний аналіз систем технологічного використання конверторного газу, виконаний на основі багатоваріантних розробок та проектно-конструкторських рішень, показав, що технологічне використання конверторного газу вимагає значно менших капітальних витрат, ніж газгольдерні установки. Експлуатація систем технологічного використання конверторного газу відрізняється також в порівнянні з експлуатацією газгольдерів значно меншими витратами енергоносіїв. В результаті за всіма розробленими варіантами систем технологічного використання конверторного газу

встановлено зниження експлуатаційних та приведених затрат в порівнянні з базовими варіантами енергетичного використання конвертерного газу, за які прийнято застосування ОКГ та комплексу "ОКГ-газгольдер".

Основний зміст дисертації відображено в публікаціях:

1. К вопросу использования конвертерного газа для восстановления железорудного сырья / Ю.И. Розенгарт, О.Г. Федоров, К.А. Бовкун, Ю.А. Гичев // Вторичные энергетические ресурсы и охлаждение агрегатов в черной металлургии: Тем.отрасл.сб. № 5 - М., 1976. - С.22-30.
2. Разработка и исследование способа восстановления железорудного сырья конвертерными газами / Ю.И. Розенгарт, О.Г. Федоров, К.А. Бовкун, Ю.А. Гичев // Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах Украинской ССР. Металлургическая промышленность. - К., 1977. - Вып. 10. - С. 10.
3. О восстановительной способности отходящих газов ферросплавных печей и сталеплавильных конвертеров / Ю.И. Розенгарт, О.Г. Федоров, К.А. Бовкун, Ю.А. Гичев // Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - К., 1978. - Вып. 58. - С. 45-48.
4. О возможности уменьшения объема конвертерного газа / Ю.И. Розенгарт, О.Г. Федоров, К.А. Бовкун, Ю.А. Гичев // Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - 1981. - Вып. 72 - С. 64-66.
5. Исследование тепло- и массообмена при восстановлении железорудного сырья конвертерным газом / Ю.И. Розенгарт, О.Г. Федоров, К.А. Бовкун, Ю.А. Гичев // Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - К., 1981. - Вып. 72. - С. 66-71.
6. Основные результаты исследования системы использования конвертерного газа для восстановления железорудного сырья / Ю.И. Розенгарт, Ю.А. Гичев, О.Г. Федоров, К.А. Бовкун // Повышение эффективности теплоутилизационного оборудования и систем охлаждения в черной металлургии: Темат.отрасл.сб. / МЧМ СССР. - М., 1982. - С. 12-18.
7. Об использовании конвертерного газа в качестве восстановителя / Ю.И. Розенгарт, Ю.А. Гичев, О.Г. Федоров, К.А. Бовкун // Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - К., 1982. - Вып. 77. - С. 129-134.
8. Теоретический анализ тепловой работы печи для обжига известняка при использовании в качестве топлива конвертерного газа / Ю.И. Розенгарт, Ю.А. Гичев, К.А. Бовкун и др. // Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - К., 1984. - Вып. 83. - С. 3-6.
9. К расчету теплообмена в шахтной печи / В.И. Елисеев, К.М. Коваль, Ю.А. Гичев, О.Г. Федоров // Теплообмен в энергетических и технологических устройствах. Т. Уш., ч. 2. Теплообмен в технологических устройствах: Матер. VII Всесоюз. конф. по теплообмену. - Минск, 1984. - С. 49-53.
10. Исследование системы использования конвертерного газа для производства извести / Ю.И. Розенгарт, Ю.А. Гичев, О.Г. Федоров и др. // Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - К., 1985. - Вып. 87. - С. 90-95.
11. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А., Бовкун К.А. Исследование теплообмена в слое железорудных окатышей // Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - К., 1985. - Вып. 88. - С. 23-27.
12. Использование конвертерного газа для обжига известняка по замкнутой технологической схеме / Ю.И. Розенгарт, Ю.А. Гичев,

- К.А.Бовкун, К.Н.Перевязко // Энергосбережение в новых высокотемпературных теплотехнологических процессах: Межвуз. сб. тр. - М., 1985. - № 66. - С.34-39.
13. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А., Ершов Ж.Н. Технологическое использование отходящего газа кислородно-конвертерного процесса для нагрева металлургического лома // Энергосбережение в традиционных и новых безотходных высокотемпературных теплотехнологических системах: Сб. науч. тр. - М., 1986. - № 105. - С.43-51.
 14. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А., Перевязко К.Н. Механизированная реторта для нагрева и загрузки конвертерного вихря // Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Вып. 93. - К., 1987. - С.43-46.
 15. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А., Утилизация теплоты отходящих газов сталеплавильных конвертеров // Промышленная теплотехника. - 1987. - т. 9, № 5. - С. 51-57.
 16. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А., Перевязко К.Н. Исследование технологического использования конвертерного газа для обжига известняка // Интенсификация охлаждения и использования тепловых отходов черной металлургии: Тем. сб. науч. тр. / ИИМ СССР: НИО "Энергосталь". - М., 1987. - С.39-46.
 17. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А. Нагрев металлолома отходящим газом сталеплавильных конвертеров // Энергосбережение в высокотемпературной теплотехнологии: Сб. науч. тр. - М., 1987. - № 139. - С.31-36.
 18. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А. О восстановлении железорудного сырья конвертерным газом, отводимым без дожигания монооксида углерода // Изв. вузов. Черная металлургия. - 1988. - № 2. - С. 28-32.
 19. Гичев Ю.А., Бовкун К.А. Восстановление железорудных окатышей конвертерным газом // Физико-химия процессов восстановления металлов: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Днепропетровск, 1988. - С.49.
 20. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А., Перевязко К.Н. Об использовании конвертерного газа для обжига известняка // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1988. - № 2. - С. 53-56.
 21. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А., Перевязко К.Н. Исследование процесса периодического обжига известняка // Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - К., 1988. - Вып. 97. - С.3-9.
 22. Гичев Ю.А. К использованию конвертерного газа для нагрева металлолома / Теория и практика тепловой работы металлургических печей: Тез. докл. Респ. конф. - Днепропетровск, 1988. - С.71.
 23. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А., Бовкун К.А. Предварительное восстановление железорудных окатышей при использовании в качестве восстановителя конвертерного газа // Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - К., 1988. - Вып. 95. - С.3-8.
 24. Гичев Ю.А. Энергосбережение при выплавке стади путем нагрева металлолома отходящим конвертерным газом / Создание и совершенствование энергосберегающей технологии в черной металлургии: Тез. докл. науч.-техн. конф. В 2-х ч., ч. II. - Караганда, 1988. - С.4.
 25. Гичев Ю.А., Бовкун К.А., Перевязко К.Н. Исследование тепло- и массообмена при обжиге известняка отходящим конвертерным газом // Моделирование процессов в шахтных и доменных печах: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Свердловск, 1988. - С.57.

26. Гичев Ю.А., Бовкун К.А. Исследование тепло- и массообмена при восстановлении железорудных окатышей конвертерным газом // Моделирование процессов в шахтных и доменных печах: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Свердловск, 1988. - С. 57-58.
27. Гичев Ю.А. О нагреве металлолома отходящим газом сталеплавильных конвертеров // *Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.-техн. сб.* - Вып. 96. - К., 1988. - С. 27-31.
28. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А. О возможности расплавления металлолома высокотемпературными продуктами сгорания конвертерного газа // Энергосбережение в высокотемпературной теплотехнологии: Сб. науч. тр. - М., 1988. - № 176. - С. 26-30.
29. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А. Об использовании тепла конвертерного газа для нагрева металлолома // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* - 1989. - № 1. - С. 64-66.
30. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А. Использование конвертерного газа для восстановления железорудного сырья // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* - 1989. - № 2. - С. 15-18.
31. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А. Эффективность нагрева металлолома отходящим конвертерным газом // Проблемы использования вторичных энергоресурсов в связи с перестройкой работы черной металлургии: Тем. сб. науч. тр. / ММ СССР: НПО "Энергосталь". - М., 1989. - С. 19-25.
32. Гичев Ю.А., Перевязко К.Н. Экспериментальная оценка интенсивности обжига известняка отходящим конвертерным газом // Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в черной металлургии: Тез. докл. Респ. конф. В 2-х ч., ч.1. - Днепропетровск, 1989. - С. 64.
33. Гичев Ю.А. Исследование фильтрации газового потока в печи для утилизации тепла конвертерного газа // Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в черной металлургии: Тез. докл. Респ. конф.: В 2-х ч., ч.1 - Днепропетровск, 1989. - С. 108.
34. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А., Перевязко К.Н. Разработка подогревателя и технологии нагрева металлолома отходящим конвертерным газом // Интенсивное энергосбережение в промышленной теплотехнологии: Тез. докл. 3-й Всесоюз. науч. конф. по проблемам энергетики теплотехнологии. - М., 1991. - С. 28.
35. Розенгарт Ю.И., Гичев Ю.А., Перевязко К.Н. Эксплуатация опытно-промышленной установки для обжига известняка отходящим конвертерным газом // Интенсивное энергосбережение в промышленной теплотехнологии: Тез. докл. 3-й Всесоюз. науч. конф. по проблемам энергетики теплотехнологии. - М., 1991. - С. 37.
36. Гичев Ю.А. Разработка комплексной математической модели процессов технологического использования конвертерного газа // Интенсивное энергосбережение в промышленной теплотехнологии: Тез. докл. 3-й Всесоюз. науч. конф. по проблемам энергетики теплотехнологии. - М., 1991. - С. 132.
37. Гичев Ю.А., Коваль К.М. Разработка математической модели тепло- и массообмена в процессе обжига известняка отходящим конвертерным газом // Тепло- и массообменные процессы в ваннах сталеплавильных агрегатов: Тез. докл. У Всесоюз. конф.: В 2-х ч., ч.2 - Мариуполь, 1991. - С. 67.
38. Гичев Ю.А., Коваль К.М. Разработка математической модели тепло- и массообмена в процессе восстановления железорудного сырья конвертерным газом // Тепло- и массообменные процессы в ваннах сталеплавильных агрегатов: Тез. докл. У Всесоюз. конф.: В 2-х ч., ч.2 - Мариуполь, 1991. - С. 68.

39. Гичев Ю.А., Коваль К.М. Математическая модель периодического процесса обжига известняка отходящим конвертерным газом // Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств: Тез. докл. УШ Респ. конф. - Днепропетровск, 1991. - С.132-133.
40. Гичев Ю.А., Коваль К.М. Математическая модель термохимического процесса восстановления железорудной шихты отходящим газом сталеплавильных конвертеров // Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств: Тез. докл. УШ Респ. конф. - Днепропетровск, 1991. - С.137-138.
41. Гичев Ю.А. Теплоэнергетический анализ процесса нагрева металлолома отходящим газом сталеплавильных конвертеров // Проблемы металлургического производства: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Вып.106. - К., 1991. - С.8-13.
42. Гичев Ю.А., Коваль К.М. Особенности горения и теплообмена в подогревателях металлургической шихты // Шестнадцатая конференция стран СНГ по вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем: Тез. докл. - Одесса, 1993. - С.138.

По темі дисертації одержано авторські свідоцтва:

1. А.с. 589259 СССР, МКИ С21с 5/38. Способ отвода газа из конвертера / Ю.А.Гичев, К.А.Бовкун, И.П.Каган и др. // Б.И. 1978. - № 3. - 2с.
2. А.с. 631538 СССР, МКИ С21с 5/38. Способ отвода газа из конвертера / Ю.И.Розенгарт, О.Г.Федоров, К.А.Бовкун, Ю.А.Гичев и др. // Б.И. 1978. - № 41. - 2с.: ил.
3. А.с. 167207 СССР, МКИ С21с 5/38, F 27a 13/00. Установка для утилизации тепла конвертерного газа / Ю.А.Гичев, Ю.Ф.Ждан, И.И.Коркодола и др. // Б.И. 1985. - № 26. - 4с.: ил.
4. А.с. 1171532 СССР, МКИ С21с 5/38, 5/40. Газоотводящий тракт конвертера / Ю.И.Розенгарт, Ю.А.Гичев, М.Б.Бошнякова // Б.И. 1985. - № 29. - 4с.: ил.
5. А.с. 1171533 СССР, МКИ С21с 5/38. Устройство для утилизации тепла конвертерного газа / Ю.А.Гичев, Ю.Ф.Ждан, И.И.Коркодола и др. // Б.И. 1985. - № 29. - 5с.: ил.
6. А.с. 1198034 СССР, МКИ С04в 2/10. Способ производства известия / К.А.Бовкун, Ю.А.Гичев, Ю.Ф.Ждан и др. // Б.И. 1985. - № 46. - 7с.
7. А.с. 1239109 СССР, МКИ С04в 2/10. Способ производства известия / Ю.А.Гичев, Ю.И.Розенгарт, Ю.Ф.Ждан и др. // Б.И. 1986. - № 23. - 6с.
8. А.с. 1242527 СССР, МКИ С21с 5/38. Способ отвода конвертерного газа и газоотводящий тракт конвертера / Ю.И.Розенгарт, Ю.А.Гичев // Б.И. 1986. - № 25. - 6с.: ил.
9. А.с. 1296592 СССР, МКИ С21с 5/38, F 27a 17/00. Устройство для утилизации тепла конвертерного газа / Ю.И.Розенгарт, Ю.А.Гичев // Б.И. 1987. - № 10. - 4с.: ил.
10. А.с. 1296593 СССР, МКИ С21с 5/42, 5/38. Устройство нагрева металлолома для конвертерной плавки / Ю.А.Гичев, Г.И.Низяев, Ю.И.Розенгарт // Б.И. 1987. - № 10. - 7с.: ил.
11. А.с. 1303618 СССР, МКИ С21с 5/38. Газоотводящий тракт конвертера / Ю.А.Гичев, Ю.Ф.Ждан, В.И.Деревянко и др. // Б.И. 1987. - № 14. - 6с.: ил.
12. А.с. 1346680 СССР, МКИ С21с 5/42, 5/38. Устройство нагрева металлолома для конвертерной плавки / Ю.А.Гичев, Ю.С.Кривченко, Г.И.Низяев, Ю.И.Розенгарт // Б.И. 1987. - № 39. - 7с.: ил.

13. А.с. 1381168 СССР, МКИ С21с 5/38, 5/42. Способ тепловой подготовки металлолома для конвертерной плавки при отводе газов с дожиганием и устройство для его осуществления / Ю.А.Гичев, Ю.С.Кривченко, Г.И.Низяев, Ю.И.Розенгарт // Б.И. 1988. - № 10. - 9с.: ил.
14. А.с. 1411312 СССР, МКИ С04в 2/10. Способ производства известки в шахтных печах / Ю.А.Гичев, В.И.Дережанко, В.Д.Кабак и др. // Б.И. 1988. - № 27. - 5с.
15. А.с. 1447869 СССР, МКИ С21с 5/38. Устройство для утилизации тепла конвертерного газа / Ю.А.Гичев, Ю.С.Кривченко, Г.И.Низяев, Ю.И.Розенгарт // Б.И. 1988 - № 48. - 6с.: ил.

Гичев

ГАЗРОВКА ТА НАУКОВІ ОСНОВИ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ КОНВЕРТОРНОГО ГАЗУ

Відповідальний за випуск Чапко В.П.

Підписано до друку 19.04.94. Формат 60x84 1/16. Папір друкарський.
Офсетний друк. Умови друку: арк. 2, 09. Ум. вкр. фарб. - відб. 2, 09. Тираж 40.

Замовлення № 171.

Видавничо-поліграфічне орендне підприємство "Дніпро".
ВПС "Дніпро" 320070, м. Дніпропетровськ, вул. Серова, 7.

46222

AB29.747

AB 29.747