

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

РИЖКОВ ВАДИМ ГЕНІВВІЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
ПІДГОТОВКИ ТЕПЛОНОСІЯ , ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧАЮТЬ ЗНИЖЕННЯ
ТЕПЛОВИХ ТА ГАЗОПОДІБНИХ ВІБІДІВ

Спеціальність 05.14.16 – технічні засоби
захисту навколишнього середовища

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеню
кандидата технічних наук

Запоріжжя - 1994



00778777 (0)

дисертацією є рукопис

Робота виконана в Запорізькому індустріальному інституті.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Павленко Д.П.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Краснокутський П.Г.,
- кандидат технічних наук, старший
науковий співробітник Молчанов В.Н.

Провідна організація - комбінат "Запоріжсталь" ім.С.Орджоні-
кідзе, м. Запоріжжя.

Захист відбудеться 22 вересня 1994 р. в 14⁰⁰ год. на за-
сіданні спеціалізованої вченої ради К.03.03.02 при Запорізь-
кому індустріальному інституті за адресою :
330600, м. Запоріжжя, пр.Леніна, 226 .

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ЗІІ.

Автореферат розісланий 09.08 1994 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

канд.техн.наук, доцент

Н.А. Українець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Зростає забруднення навколишнього середовища, яке супроводжується виснаженням природних ресурсів та зростом цін на енергоносії, робить все більш актуальним зменшення питомих витрат первинної енергії і зменшення газоподібних та теплових викидів.

Цілеспрямована підготовка теплоносія в широкому розумінні слова (до спалювання палива та після) дозволяє зменшити як загальні енергозатрати та викиди теплоенергетичних установок, так і витрати самого палива та викиди теплотехнічних установок.

Одним із головних викидів палива в чорній металургії є доменний газ, який використовується з добавками коксового або природного газу та подається споживачеві після мокрого газоочищення, будучи насиченим на 100% водяним паром.

З підвищенням температури доменного газу збільшується його вологовміст і, відповідно, зменшується теплота згорання. Збільшення витрат води на газоочищення для охолодження газу приводить до зростання витрат на водопідготовку, перекачення, очищення шламу. Доцільно знайти оптимальну температуру доменного газу та відповідні їй витрати води, а отже і витрати енергії на газоочищення.

Одним із способів підвищення ефективності використання теплоносія після спалення палива є отримання заданих параметрів теплоносія (температура, швидкість, концентрація компонентів), що досягається, в основному повторним використанням теплоносія в процесі інжекційного змішування продуктів згорання.

Ефективність конвективного теплообміну, який є найбільш чіткий фактор підвищення швидкості та рівномірності нагріву, залежить від параметрів теплоносія, які в свою чергу зв'язані з кратністю інжекції в пічній камері або в топочному пристрої. В зв'язку з різноманітністю конструкцій печей та інжекційних пристроїв стають все більш актуальними питання впливу конструктивних параметрів пічних інжекційних пристроїв на кратність інжекції та стійкість рециркуляційних контурів. Для управління параметрами теплоносія необхідно розробити методики їх розра-

хунку.

Метод роботи є розробка технічних засобів захисту навколишнього середовища через енергозбереження і зниження газоподібних та теплових викидів шляхом удосконалення і розробки нових способів та пристроїв підготовки теплоносія, як до спалення палива, так і після, а саме: при очищенні доменного газу до заданих параметрів і при інжекційному перемішуванні продуктів згорання в топочно-інжекційних системах. В зв'язку з цим необхідно було вирішити ось такі задачі :

1. Розробити нову методику розрахунку зрошувального скруббера.

2. Вивчити фактори, які впливають на оптимальну температуру доменного газу після мокрого газоочищення, та розробити методику її розрахунку.

3. Дослідити і дати математичний опис впливу конструктивних параметрів топочно-інжекційних пристроїв та фізичних параметрів середовищ на кратність інжекції.

4. Визначити умови створення замкнутих контурів рециркуляції і розробити методику їх розрахунку.

5. Дослідити основні параметри багатокомпонентних сумішей, які утворюються при інжекційній підготовці теплоносія.

6. Дослідити можливості управління циркуляцією теплоносія і розробити способи впливу на його параметри та напрям руху.

Наукова новизна. В роботі одержані ось такі основні результати, які визначають її новизну:

1. Одержано рівняння, яке зв'язує ентальпію доменного газу на виході із скруббера з початковими параметрами газу, відносними витратами та температурою зрошувальної води.

2. Розроблена методика розрахунку оптимальної температури доменного газу як температури, при якій досягається мінімум сумарних затрат на покриття збитків тепла при спаленні зволоженого газу та на водопідготовку.

3. Розроблена структурно-режимна класифікація струменевої рециркуляції газів, яка полегшує аналіз інформації по інжекційній підготовці теплоносія.

4. Виведені рівняння, які показують залежність безрозмірних конструктивних параметрів інжекційних систем з заданою кратністю

інжекції та фізичними параметрами зміщуваних середовищ.

5. Розроблена методика розрахунку повного замкнутого контуру рециркуляції в робочій камері та визначені умови його існування.

6. Одержані залежності для розрахунку фізичних і енергетичних параметрів багатокомпонентних сумішей, які отримують в процесі інжекційної підготовки теплоносія.

7. Розроблені і досліджені технічні засоби управління інжекційною підготовкою теплоносія та впливу на напрям його руху.

Практичне значення. Результати виконаних досліджень можуть бути використані на будь-якому металургійному підприємстві, де є доменне виробництво як із замкнутим, так і з незамкнутим циклом водообороту. Розроблена методика дозволяє розрахувати оптимальний режим охолодження доменного газу з урахуванням його первинних параметрів, схеми водообороту, температури навколишнього повітря та особливостей споживачів. Застосування оптимального режиму охолодження дозволяє знизити питомі витрати енергії на підготовку доменного газу на 2-3%.

Виведені залежності для розрахунку конструктивних параметрів інжекційних систем в залежності від заданої кратності інжекції дають можливість на стадії проектування печі закласти необхідні конструктивні параметри для забезпечення потрібного теплового режиму. Потрібні фізичні характеристики пiчного середовища можуть бути одержані на працюючих печах шляхом їх реконструкції - змінювання геометричних розмірів каналів та викон і застосування розроблених пристроїв управління інжекційною підготовкою теплоносія.

Реалізація результатів роботи. Одержані залежності для розрахунку конструктивних параметрів інжекційних систем за поданою кратністю інжекції використані при розробці проекту реконструкції камерних печей термічного цеху заводу "Дніпроспецсталь". В цей же проект упроваджен розроблений у процесі досліджень пристрій для управління параметрами теплоносія в підлогових інжекційних топках за допомогою протилежних течій (авторське свідоцтво №117642).

До теперешнього часу за цим проектом реконструйовано п'ять темпичних печей, в яких одержана висока рівномірність нагріву, що дозволило скоротити тривалість витримки на основних режимах на 3 - 4 г. і зменшити питомі теплові і газоподібні викиди на 12 - 16%. Річний економічний ефект - 58,7 тис. крб. в цінах 1990р. .

Апробація роботи. Результати роботи були докладені та обговорені на другій Всесоюзній науковій конференції "Проблеми енергетики теплотехнології", Москва, 1987р.; третій обласній конференції молодих вчених, Запоріжжя, 1988р.; науково-технічній конференції "Маловідходні технологічні процеси і скорочення промислових викидів в металургійній промисловості", Запоріжжя, 1988р.; Всесоюзній науковій конференції "Стан і перспективи розвитку електротехнології", Іваново, 1987р.; науково-технічній конференції "Проблеми енерго- і ресурсозберігаючих технологій в чорній металургії", Новокузнецьк, 1989р.; міжнародному семінарі "Наукові основи конструювання металургійних печей. Теплотехніка і екологія", Дніпропетровськ, 1993р.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 28 друкованих робіт, із них 4 авторських свідоцтва на винаходи.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, загальних висновків, списку літератури із 120 найменувань, 3 додатків і містить 125 сторінок машинописного тексту, 35 малюнків, 13 таблиць. Загальний обсяг дисертації - 165 стор.

З М І С Т Р О Б О Т И

В першій главі розглянуті сучасні наукові досягнення в галузі підготовки до спалення такого теплоносія як доменний газ і в галузі підготовки теплоносія в топочно-інжекційних системах печей.

В різний час у тій чи іншій мірі питаннями підготовки теплоносія займалися такі видатні вчені як М.О. Глишков, В.Трінко, С.Чернох, О.І.Пуговкін, В.О. Кривандін, С.В.Старк, О.Д.Вальдберг, В.М.Ужов, В.Т.Лісієнко, В.І.Губинський та інші. Однак, підготовка теплоносія не відділялась в окремий об'єкт дослідження, а

роглядалась як частина процесу теплообміну. Тому в цілому це направлення має цілий ряд вад, які виявляються при окремому розгляданні проблеми.

Не розглядалась підготовка теплоносія в аспекті зникнення питомих викидів печей і енерговитрат на виконання підготовки. Так при підготовці доменного газу він піддається мокрому очищенню в контактних теплообмінниках, для розрахунку яких у теперішній час немає надійних методик. В розрахунках застосовуються емпіричні об'ємні коефіцієнти тепловіддачі, які залежать від багатьох факторів і змінюються в широких межах. Використовуються $T-d$ діаграми (ентальпія-вологоміст) для вологого повітря атмосферного тиску. Це вносить значні похибки як по причині неоднаковості в складах доменного газу і повітря, так і по причині підвищеного тиску в системі газоочищення.

В технічних вимогах на доменний газ обумовлена його температура: не вище $35-40^{\circ}\text{C}$ на виході з мокрого газоочищення. Однак, ці цифри не підтверджені ніякими розрахунками. В літературі немає переконливого обґрунтування оптимальної температури доменного газу і витрати води на його охолодження.

В огляді, що присвячений підготовці теплоносія в топочно-інжекційних системах печей, відзначається відсутність класифікації засобів і способів створення гріючих сумішей із газоподібних теплоносіїв.

В процесі роботи над різномірною інформацією по цьому питанню була розроблена структурно-режимна класифікація струменної рециркуляції і далі був виконаний системний огляд по цій класифікації. Зокрема, відзначається, що в літературі немає повідомлень про залежність кратності інжекції від конструктивних параметрів топочно-інжекційних систем.

Недостатньо повно в літературі освітлені питання керування інжекційною підготовкою теплоносія. Відсутні розрахункові залежності для ряду фізичних параметрів багатоконпонентних систем, що утворюються при цьому.

На підставі аналізу літератури визначені цілі і задачі дослідження.

У другій главі розглянуті методики теплового розрахунку контактних теплообмінників. В цих розрахунках використовується зв'язок між ентальпією, вологомістом і температурою газу. При

цьому застосовуються таблиці вологовмісту насиченого газу і $T-d$ діаграми.

Як базовий для розрахунків був узятий склад доменного газу комбінату "Запоріжсталь". Виведена формула, що показує залежність теплоємності від температури в інтервалі $0-600^{\circ}\text{C}$:

$$C = 1,064 + 0,000323t, \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K}) ; \quad (1)$$

$$C' = 1,349 + 0,00040t, \text{ кДж}/(\text{м}^3\text{K}) . \quad (2)$$

При виведенні формули для розрахунку вологовмісту насиченого газу d_n використано відоме співвідношення, що зв'язує газові сталі компонентів суміші, їх парціальні тиск і вологовміст суміші

$$d_n = 0,636 P_n / (P - P_n) \quad (3)$$

де P - повний тиск у теплообміннику; P_n - парціальний тиск водяного пару.

Оскільки в реальних умовах склад доменного газу не є стабільним, була зроблена оцінка впливу цієї мінливості на точність визначення вологовмісту (d_n). Максимальні відхилення хімічного складу доменного газу комбінату "Запоріжсталь" за дворічний період викликали похибку в розрахунку всього 3,1%. Отже, результати виконаних розрахунків можуть бути застосовані і для складів газу, що відрізняються від базових.

З використанням рівняння (3) одержані таблиці вологовмісту і побудовані $T-d$ діаграми вологого доменного газу для різних тисків.

Зрошувальний скруббер в системі доменного газоочищення - це протиточний випарно-конденсаційний теплообмінник, в якому поверхня, що перепадає тепло, утворена краплями води. Змінення температури середовища у ньому описується відомим рівнянням

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-N(1 - W_{min}/W_{max})]}{(1 - W_{min}/W_{max}) \exp[-N(1 - W_{min}/W_{max})]} \quad (4)$$

де W_{max} і W_{min} - більший і менший водяні еквіваленти;
 $N = KF/W_{min}$; δt - змінення температури середовища з меншим значенням W ; k - коефіцієнт теплопередачі;

$\varepsilon = \frac{\delta t}{t - t^*}$; t' , t^* - початкові температури газу і рідини.

Особливість процесу теплопередачі, що описується рівнянням (4), полягає в тому, що при $N > (5-7)$ величина ε практично не залежить від N , тобто від умов теплопередачі.

Розрахунок величини N для реальних значень температур у скруббері, діаметрів крапель, витрат газу і води, а також геометричних характеристик скрубберів, дозволили одержати значення $N > 7$. На цій підставі виведені рівняння для розрахунку теплових режимів доменних скрубберів. Для тисків в інтервалі $P = 0,15-0,315 \text{ МПа}$

$$J'' = (0,61 - 1,19P) \frac{J'}{m} + (1,54 - 3,4P) \frac{i''}{m} - 208,3P + 114,5 \quad (5)$$

для $P = 0,10 - 0,15 \text{ МПа}$,

$$J'' = 4,88 \frac{J'}{m} - 0,34 \frac{i''}{m} + 2,14 \quad (6)$$

Тут J' і J'' - початкова і кінцева ентальпії газу;

i' - початкова ентальпія води, кДж/кг; m - відношення масових витрат води і газу. Рівняння (5) і (6) з точністю до 10%, описують більш 50 режимів випробувань промислових доменних скрубберів і справедливі в інтервалах $t' = 115 - 440^\circ\text{C}$, $t^* = 21 - 58^\circ\text{C}$, $m = 1,39 - 5,20 \text{ кг/кг}$.

Аналіз відомого рівняння, що описує змінення температури середовищ в прямоточному контактному теплообмінювачі, яким є труба Вентурі, показав, що при $N > (3-5)$ величина ε практично не залежить від N . Розрахунки показали, що для реальних труб Вентурі в доменних газоочисненнях N завжди більш п'яти. Тому для розрахунку теплового режиму в трубах Вентурі виведено нове рівняння.

$$J'' = 0,98 J' + i'm - i''(m + d' - d''), \quad (7)$$

де i'' - ентальпія води на виході; d' , d'' - початковий і кінцевий вологовміст доменного газу.

Рівняння (7) вирішується методом послідовних наближень. Для спрощення процесу вирішення побудована номограма, що опублікована в журналі "Известия вузов". Черная металлургия, №7, 1964, с.136-138.

Третя глава присвячена розробці методики розрахунку оптимальної температури доменного газу. В системах очищення доменного газу одночасно проводять його охолодження для зни-

ження вологовмісту, який збільшує збитки з газами, що відходять, у споживача. Знижати температуру газу раціонально до тих пір, доки сума витрат на охолодження газу і затрат на покриття збитків тепла у споживачів не досягає мінімуму. Цей мінімум визначається при аналізі техніко-економічних характеристик системи, що включає доменне газоочищення, впарати для освітлювання шламової води і градирня, зв'язані циркуляційними водододами і насосами. Витрата води в такій системі лімітується не вимогами до очищення газу, а умовами його охолодження.

Автором розроблена методика розрахунку оптимального режиму охолодження газу, що заключається ось в чому:

1. Система розглядається як теплообмінник з проміжним теплоносієм (зрошувальною водою), де гарячий ступінь - газоочищення, а холодний - градирня.
2. Тепловий режим скрубера розраховується по рівнянням (5) або (6).
3. Тепловий режим у трубі Вентурі і дросельній групі визначається з співвідношення (7).
4. Тепловий режим у градирні розраховується за відомими формулами.
5. Збитки тепла в споживачів газу розраховуються по витраті і ентальпії газів, що відходять.
6. Витрати на охолодження газу включають затрати електроенергії на циркуляцію води в системі і вартість підживленої води.

В результаті розрахунку виведена залежність сумарних затрат від витрати води або від температури очищеного газу.

По цій методичці був складений алгоритм, блок-схема і програма розрахунку на ЕОМ. Розрахунок по цій програмі для умов "Запоріжстал" показав, що мінімум затрат буде при величині $m = 2,6 - 3,2 \text{ кг/кг}$. При таких витратах води температура охолодженого газу буде $44,5-43^{\circ}\text{C}$.

Результати проведеної роботи дозволяють заключити, що вказівки норм технологічного проектування в частині витрат води, що охолоджує, повинні бути відкоректовані і засновані на економічних розрахунках. Температура очищеного газу складним чином залежить від великого числа перемінних і на кожному

підприємств повинна дотримуватись на рівні, що визначається за викладеною методикою.

В четвертій главі приведені теоретичні дослідження підготовки теплоносія в топочно-інжекційних системах. В загальному вигляді зв'язок кратності інжекції з фізичними і геометричними параметрами в безрозмірному виді для інжектора без дифузора був одержан Г.П.Іванцовим в результаті перетворення рівняння енергетичного балансу інжектора.

В зв'язку з орієнтацією розрахунку на лічну топочно-інжекційну систему в рівнянні Г.П.Іванцова внесли ось такі змінення і доповнення.

1. Об'ємний коефіцієнт інжекції (m) замінений масовою кратністю інжекції (u) через вираз $m = uV + 1$ де V - відношення густин газів, що витікають із сопла і інжектують.

2. Уведено безрозмірні площі перерізів вхідного і вихідного каналів.

3. Уведено коефіцієнти гідравлічних збитків у топочно-інжекційній системі.

4. Уведено коефіцієнти нерівномірності швидкісних полів по кінетичній енергії.

З урахуванням переліченого виконані математичні перетворення і рівняння подані у вигляді залежностей параметрів, що містять безрозмірні геометричні відношення, від кратності інжекції і фізичних параметрів середовищ, що змішуються

$$\alpha = \frac{t - \beta - 1}{v^2 u^2} - \frac{1}{vu} (2\beta + 1 + \frac{1}{v}) - \beta - \frac{1}{v}; \quad (8)$$

$$\beta = \frac{1}{(uv + 1)^2} \left[t - u^2(av^2 + v) - u(v + 1) - 1 \right]. \quad (9)$$

Тут $\alpha = 0,5 \psi_0 \zeta_0 \varphi_0$ - комплекс, що характеризує вхідні умови, де ψ - коефіцієнт нерівномірності поля швидкостей; ζ_0 - сума коефіцієнтів гідравлічних збитків; φ - відношення площ перерізів змішувача і сопла.

$\beta = 0,5 (\psi_{3M} \zeta_{3M} + \psi_{4M} \zeta_{4M} \varphi^2)$ - комплекс, що характеризує умови в змішувачі і вихідному каналі по тим же параметрам. Індекс 3M - змішувач, вих - вихідний канал.

По виведеному рівнянню були побудовані графічні залежності, що виявили характер впливу кратності інжекції на безрозмірні комплекси і межі функціонування топочно-інжекційних систем.

На другому етапі розрахунків були враховані відмінності в геометричних натисках, що створюються у вертикальних каналах з різним рівнем. Для цього геометричний натиск у кожному каналі віднесли до швидкостного натиску в соплі.

Виведене в загальному вигляді рівняння використано для визначення умов, при яких інжекція вертання припиняється, тобто

$$u=0: \quad \eta_0 = \frac{2}{f} - \frac{2}{f^2} \left[\frac{(2a+1-\frac{1}{v})^2}{4(a+b+\frac{1}{v})} - \frac{(2b+\frac{3}{v}-1)^2}{4v^2(a+b+\frac{1}{v})} - a \right]. \quad (10)$$

Для розрахунку параметрів теплоносія, що складається з багатоконпонентної суміші, яка одержана в багатоступеневому інжекторі, були виведені ось такі залежності.

$$t_{\text{сум}} = (t_c c_c + \sum_{i=1}^n u_i c_i t_i) / [c_{\text{сум}} (1 + \sum_{i=1}^n u_i)], \quad (11)$$

де c - теплоємності; n - кількість потоків, що входять.

Для випадку, коли хімічний склад потоків однаковий і теплоємність розраховується за формулою типа: $C = A + Bt$

$$t_{\text{сум}} = \sqrt{\frac{A^2}{4B^2} + \frac{A(t_c + \sum_{i=1}^n u_i t_i) + B(t_c^2 + \sum_{i=1}^n u_i t_i^2)}{B(1 + \sum_{i=1}^n u_i)}} - \frac{A}{2B}. \quad (12)$$

Концентрації компонентів у суміші, що одержана в багатоступеневому інжекторі можна розраховувати за формулою

$$K_{\text{сум}} = (K_c + \sum_{i=1}^n u_i K_i) / (1 + \sum_{i=1}^n u_i). \quad (13)$$

Виведені також формули для розрахунку концентрації компонента в регулюючому потоці, яка необхідна для одержання поданої концентрації в суміші.

Густина суміші. Формула для розрахунку отримана з теплового балансу з урахуванням рівняння стану ідеального газу:

$$\rho_{\text{сум}} = \frac{273 c_{\text{сум}} (\rho_{0i} + \sum_{i=1}^n \rho_{0i} u_i)}{T_c c_c + \sum_{i=1}^n u_i c_i T_i}. \quad (14)$$

Для ефективного виконання процесу нагріву матеріала в ро-

бочій камері необхідно мати стійкий замкнутий контур циркуляції або рециркуляції, що управляється. Цей замкнутий контур, в свою чергу, буде впливати на процес у самій топочно-інжекційній системі.

На підставі закономірностей настільної стиснутої течії стосовно багатозонних печей виведена формула для розрахунку збільшення кратності інжекції за рахунок залишкової кінетичної енергії потоку теплоносія:

$$\Delta U = 1,8U \rho_{e1} F_{e1} d_e^{0,5} / \rho_{m1} F_{m1} L^{0,5}, \quad (15)$$

де d_e - еквівалентний діаметр вихідного каналу; L - відстань від виходу до входу по траєкторії течії.

З використанням цього рівняння розроблена методика розрахунку замкнутого контура рециркуляції. Визначені умови, при яких контур розмикається, що треба розглядати як необхідність уведення в контур додаткового топочно-інжекційного вузла або течії енергетичного повітря.

В п'ятій главі наведені результати експериментальних досліджень на промислових об'єктах і лабораторних установках і моделях.

Експериментальні дослідження контактних теплообмінювачів проводились на доменних печах заводів південного сходу СРСР (на 10 печах 8-и заводів) з метою знаходження емпіричних коефіцієнтів для методики розрахунку, що розробляється, теплових режимів скрубберів і труб Вентурі, а також для перевірки виконання технічних вимог на доменний газ і норми технічного проектування.

Для вимірювань застосовувались прилади, встановлені на щитах газоочисних установок. В процесі вимірювань міняли, в деяких випадках, витрати води на скруббер і трубу Вентурі. Фіксувалися значення тиску газу, його витрати і температура до і після газоочищення, температура і витрати води.

За даними експериментальних замірів виведені напівемпіричні формули (5 - 7) для теплового розрахунку доменного скруббера і труби Вентурі. Звертає до себе увагу той факт, що при наявності замкнутої системи водообороту, практично ніде не дотримується температура, що регламентується, очищеного газу.

Експериментальні дослідження інжекції в топочно-інжекцій-

них системах виконані при двох способах впливу: увеченням місцевого опору і протиборствуючою течією.

Перший спосіб досліджений на аеродинамічній моделі топки (масштаб 1:5), що виконує функцію двоступеневого інжектора. У вихідний канал увелили опір у вигляді заслонки, тим самим збільшували протитиск. Збільшення міри перекриття каналу вело до зниження кратності інжекції по обом ступеням. При відношенні неперекритої площі до повної $\omega = 0,65$ рух в центральному каналі (друга ступінь інжекції) припинявся, а надалі відбувалося вибивання теплоносія через цей канал. При змінюванні ω від 1 до 0 загальна кратність інжекції зменшувалась з 3,15 до -1, а в центральному каналі від 0,7 до -2,4. Це і є діапазон управління інжекцією в цій конструкції, причому знак (-) означає змінювання напрямку руху газів на протилежне. Розрахунки за раніше наведеною формулою (II) показали, що таке управління забезпечує зміння температури від 955 до 1550°C при спалюванні природного газу і від 910 до 1310°C при спалюванні коксодоменої суміші з теплою згорання 7,0 МДж/м³.

Найбільший практичний інтерес ставить зона вибивання теплоносія через центральний канал. Це єдиний реальний спосіб подавання свіжої гарячої суміші до центральних і нижніх ділянок садки. Реалізація його дозволяє підвищити швидкість і рівномірність нагрівання всієї садки.

Другий спосіб - управління теплоносієм за допомогою протиборствуючої течії - був досліджений двома методами: тіньовим на приладі Теплера та аеродинамічним на моделі топки.

Тіньовим методом виконані якісні дослідження на прозорій локальній моделі однієї зони печі, в якій свіжі продукти згорання і течія повітря, що управляє, імітували вуглекислим газом, а повернення (газ, що інжектуються з робочої камери) - повітрям з навколишнього середовища. Сопла пальника і повітря були розташовані в протилежних торцевих стінках топки співосно і назустріч один одному. При постійних витратах через пальник, витрати в течії, що управляє, змінювали від нуля до максимуму. При візуальному оцінюванні картин руху були виявлені, крім початкової, ще три різновиди: вибивання через усні канали; вибивання через центральний канал при рециркуляції в першому каналі; ус-

мокування через канал виходу і вибивання через інші.

Кількісні дослідження виконані на промисловій термічній печі початкової конструкції, в якій зробили додаткові канали у середині по довжині кожної топки. Не міняючи геометричних параметрів топки та каналів змінювали витрати через пальник і сопло. Результати експериментів показали, що, впливаючи протиборствующою течією на потік теплоносія в топці можна забезпечити подавання половини теплоносія в центральні і нижні ділянки сажки через центральний канал.

Після реконструкції печі, виконаної по проекту, в якому використані результати розрахунків геометричних параметрів топочно-інжекційних вузлів по розробленій методиці, виконали заміри швидкості в каналах крильчастим анемометром при подаванні через пальники тільки повітря. Одержана гарна збіжність значень кратності інжекції експериментальних з розрахунковими. Відхилення на 10 - 15% пояснюються неминучою неточністю визначення коефіцієнтів гідравлических опорів та нерівномірності швидкісних полей.

Упровадження результатів виконаної роботи, а саме: оптимального режиму охолодження доменного газу в апаратах мокрого газоочищення на комбінаті "Запоріжсталь" та топочно-інжекційних систем, розрахованих по розробленій методиці, в термічних печах заводу "Дніпроспецсталь" дозволить скоротити теплові і газоподібні викиди.

Для визначення величини цього скорочення проведено порівняння двох режимів охолодження доменного газу: потрібного по нормам технологічного проектування та оптимального, одержаного із розрахунку по розробленій методиці.

Зниження потужності, витраченої на циркуляцію оборотної води при роботі в оптимальному режимі буде складати 4590 кВт.

Виходячи з цієї величини, а також з урахуванням частки теплових станцій у виробі електроенергії та складу витраченого їми палива, розраховано зниження викидів діоксиду сірки та теплових викидів в атмосферу. Воно складатиме відповідно 355 т/рік та 10900 Гдж/рік.

Як показали дослідні дані, витрати палива на термічних печах, реконструйованих з використанням одержаних залежностей, зменшилися на 12–16%. Отже, на стільки ж зменшились витрати газоподібних викидів.

дослідження, проведені рядом авторів, показали, що застосування рециркуляції дозволяє зменшити вміст оксидів азоту в димових газах на 50%. Порівняння значень кратності рециркуляції в печах до реконструкції та після неї дозволяє орієнтовно оцінити зниження концентрації оксидів азоту за рахунок збільшення рециркуляції на 30%.

Розрахунок для 5 реконструйованих печей показав зниження викидів оксидів азоту приблизно на 1000 кг на рік, а при запровадженні остаточної реконструкції, на 26 печах – на 5200 кг на рік.

Зменшення теплових викидів при роботі 5 реконструйованих печей складатиме 16400 ГДж/рік.

В кузнечно-пресовому цеху заводу "Дніпроспецсталь" встановлено 18 термічних та нагрівальних печей, подібних до реконструйованих. Після реконструкції цих печей загальне можливе скорочення викидів NO_x досягне 8800 кг/рік, теплових викидів – 14300 ГДж/рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Підготовка теплоносія до і після спалювання є важливим напрямком у роботах по енергозбереганню та охороні навколишнього середовища, дозволяючи більш ефективно використовувати паливо і знижувати питомі газоподібні викиди.

2. Для визначення оптимальної температури доменного газу виведені залежності, що дозволяють розраховувати теплові режими протиточних та прямоточних теплообмінників при великих числах переносу теплоти. Побудована номограма для розрахунку прямоточних теплообмінників в цій зоні.

3. Побудована $J-d$ діаграма вологого доменного газу для різних значень тиска. Застосування її дозволяє ліквідувати похибки в розрахунках, що зв'язані з різницею в складах газу та

повітря і підвищеним тиском в газоочисній установці.

4. Розроблена методика визначення оптимального режиму охолодження доменного газу. Упровадження методики дозволяє одержати економію за рахунок зникнення сумарних витрат енергії на водооборот та на покриття збитків при спалюванні вологого доменного газу.

5. Розроблена структурно-режимна класифікація рециркуляції газів, що полегшує аналіз різномірної інформації по інжекційній підготовці теплоносія.

6. Виявлений аналітичний зв'язок кратності інжекції з конструктивними параметрами топочно-інжекційних систем.

7. Виведено рівняння, використання якого на стадії проектування дає можливість розраховувати конструктивні параметри топочно-інжекційних систем за поданою кратністю інжекції.

8. Результати конструктивних розрахунків за згаданою методикою використані в робочому проекті реконструкції печей. Проект реалізований в термічному цеху заводу "Дніпроспецсталь".

9. Виявлені залежності та виведені розрахункові формули для визначення фізичних параметрів багатокомпонентних гріючих сумішей, що одержуються в багатоступеневих інжекторах.

10. Виведений математичний опис зв'язку кратності інжекції з геометричним натиском. Визначені умови роботи різномірних топочно-інжекційних систем.

11. Розроблена методика розрахунку повного замкнутого контура рециркуляції і визначені умови його стійкості.

12. Виконані дослідження рециркуляції, якою управляють, на моделях, що показали реальну можливість змінення в поданому напрямку параметрів теплоносія та його руху.

13. Розроблений пристрій для управління параметрами і напрямком руху теплоносія в топочно-інжекційній системі за допомогою протидіючих течій, на який отримане авторське свідоцтво № П17І642.

14. Упроваджені в робочий проект і на п'яти промислових печах змонтовані пристрої для управління теплоносієм за допомогою протидіючих течій. Промислові дослідження виявили різке прискорення нагріву нижньої частини садки, що дозволило скоротити тривалість операції на 3-4 години. Річний економічний

ефект в умовах термічного цеху заводу "Дніпроспецсталь" в цінах 1990 р. - 58,7 тис. крб.

Із приповному упровадженні виконаних розробок на комбінаті "Запоріжсталь" та на заводі "Дніпроспецсталь" сумарне зменшення викидів складатиме: NO_x на 8,8т/рпк, SO_2 на 365т/рпк, тепла на 15500 ГДж/рпк.

За темою дисертації опубліковано 28 друкованих робіт, основні з них перелічені нижче.

1. Визначення температури гарячих газів при змішуванні їх з повітрям в рециркуляційних печах/ В.Г. Рижков, В.П. Павленко// Изв. вуз. ЧМ. -1988, -№3. -С. 79-83.
2. Застосування підпдових топок для рециркуляції продуктів згорання, якою управляють/ В.Г. Рижков, Г.М. Рижков// Кузнечно-штамповочное производство. -1987, -№1. -С. 37-38.
3. Рециркуляція, якою управляють, в підпдовій топці/ В.Г. Рижков, Г.М. Рижков// Изв. вуз. ЧМ. -1987, -№4. -С. 116-119.
4. Куклінський В.В., Рижков В.Г. Про тепловий розрахунок проточних контактних теплообмінників// Стан і перспективи розвитку електротехнології: Тези доп. Всес. наук.-техн. конф. -Івано. 1987. -С. 42.
5. Про діаграму стану вологого доменного газу/ В.В. Куклінський, В.Г. Рижков// Изв. вуз. ЧМ. -1987, -№8. -С. 14-16.
6. Рижков В.Г. Визначення оптимальної температури доменного газу після мокрого газоочищення// III обл. конф. молодих вчених: Тези доп. -Запоріжжя. -1988. -С. 132.
7. Рижков Г.М., Черняков В.А., Рижков В.Г. Удосконалення термічних камерних печей/ Ін-т "Черметінформація". М., 1988. Огляд. інформ. Сер. Загальногалузеві питання. Вип.3.-20с.
8. До розрахунку теплообмінників з безпосереднім контактом газів та рідини/ В.В. Куклінський, В.Г. Рижков// Изв. вуз. ЧМ. -1989, -№2. -С.136-138.
9. Про тепловий розрахунок проточних доменних скрубберів/ В.В. Куклінський, В.Г. Рижков// Изв. вуз. ЧМ. -1990, -№8. -С.3-4.
10. Техніко-економічні характеристики доменного водообороту/ В.В. Куклінський, В.Г. Рижков// Изв. вуз. ЧМ. -1991, -№8. -С.75-77.

11. Про вплив кратності циркуляції зрошувальної води на температуру очищеного доменного газу/ В.В. Куклинський, В.Г.Рижков// Изв. вуз. ЧМ. -1991, -№2. -С.4-6.
12. Про методику теплового розрахунку доменних скрубберів / В.В. Куклинський, В.Г. Рижков// Изв. вуз. ЧМ. -1990, -№2. -С.69-70.
13. А.с. ІІ425ІЗ СРСР. МКГ² С 27 В7/22. Багатоступенева установка для очищення і охолодження газу/ В.В. Куклинський , В.Г. Рижков, С.І. Крючков, Т.Л. Яценко СРСР .-№ 3625929/ 22-02.
14. А.с. ІІ7642 СРСР. МКГ² F 23 С3/00. Рециркуляційна топка/ Г.М. Рижков, О.О. Ченцов, І.О. Пилипенко, В.Г. Рижков та ін. СРСР . -№ 368І0І9/24-06.
15. Рижков В.Г. та ін. Розрахунок параметрів гривчої суміші при рециркуляції продуктів згорання// Наукові основи конструювання металургійних печей: теплотехніка і екологія : Тези доп. Міжнар. сем. -Дніпропетровськ, 1993. -С.51-52.
16. Про зв'язок кратності рециркуляції з конструктивними параметрами печного інжектора/ В.Г. Рижков та ін.// Изв. вуз. ЧМ. -1994, -№2. -С.242-246.
17. Методика розрахунку і дослідження основних параметрів багатоконцентної суміші при рециркуляції/ В.Г. Рижков та ін. // Изв. вуз. ЧМ. -1994. -№6.



Рижков Вадим Генетевич

Дослідження та розробка технічних
засобів підготовки теплоносія, які забез-
печують зниження теплових та газоподібних
викидів

Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеню
кандидата технічних наук

Редакційно-видавничий відділ ЗІІ

Підписано до друку 05.07.94. Формат 60x84/16. Пап. друк. МІ

Офс. друк. Умов. друк. л. 1,0. Обл.-виц. л. 1,0

Тираж 50 прим. Заказ 3256 Безкоштовно.

Городская государственная коммунальная

типография "Днепропетровский металлург"

330057 г. Запорожье, ул. Антонова, 4

AB 30.748

AB 30.748