



УКРАЇНА

(19) UA (11) 70063 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
F23C 13/06МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) СПОСІБ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ ПАЛИВОСПАЛЮВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

1

2

(21) 20031212371

(22) 25.12.2003

(24) 15.05.2006

(46) 15.05.2006, Бюл. № 5, 2006 р.

(72) Лобов Олександр Олександрович, Данілін  
Євген Олексійович, Рубчевський Валерій Микола-  
йович, Чернишов Юрій Олексійович(73) ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ЗА-  
ПОРОЖКОКС", АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО ЗА-  
КРИТОГО ТИПУ НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ПІДПРИ-  
ЄМСТВО "КОТЛОЕНЕРГОПРОМ"

(56) SU 949295, F23G7/06, 07.08.82

SU 1564471, F23G7/06, 15.05.90

DE 4007166, F23G7/06, 12.09.91

EP 0773406, F23G7/06, 14.05.97

GB 1370223, F23G7/06, 16.10.74

US 4033725, 23/277 C, 05.07.77

(57) Спосіб знешкодження димових газів паливо-  
спалювальних агрегатів, який характеризується  
тим, що димові гази знешкоджують у камері зго-  
ряння, при цьому загальний потік палива розділя-  
ють на два потоки, перший потік палива змішують  
з димовими газами, що подають в камеру згорян-  
ня, а другий потік палива направляють у пальники  
камери згоряння, де спалюють у середовищі пові-  
тря, а потім подають у камеру згоряння, який від-  
різняється тим, що як паливо використовують  
коксівий газ або доменний газ, або генераторні  
гази, або суміш зазначених газів, при цьому загал-  
ьну витрату димових газів  $\Phi_{\Gamma}''$  на виході камери  
згоряння, загальну витрату палива  $\Phi_{\Gamma}'$ , що пода-  
ється в камеру згоряння, витрату повітря  $\Phi_{\text{В}}$ , що  
подається в камеру згоряння, і витрату палива

$V_{\Gamma}^{\text{ПАЛ}}$ , що подається на пальники, визначають у  
відповідності з системою рівнянь

$$V_{\Gamma}'' = V_{\Gamma}' + V_{\Gamma} + V_{\text{В}} \quad (1)$$

$$V_{\Gamma} \cdot Q_{\text{Р}}^{\text{Н}} = V_{\Gamma}'' \cdot C_{\Gamma}'' \cdot T_{\Gamma}'' - V_{\Gamma}' \cdot C_{\Gamma}' \cdot T_{\Gamma}' \quad (2)$$

$$V_{\text{В}} = V_{\Gamma} \cdot V_{\text{В}}^{\text{О}} \cdot \alpha - \frac{(O_2' \cdot V_{\Gamma}' - O_2'' \cdot V_{\Gamma}'')}{21} \quad (3)$$

$$V_{\Gamma}^{\text{ПАЛ}} = \frac{(0,8 \div 3,0) \cdot V_{\text{В}}}{V_{\text{В}}^{\text{О}}} \quad (4)$$

де  $V_{\Gamma}'$  - витрата димових газів на вході камери  
згоряння, кг/год,  $T_{\Gamma}'$  - температура димових газів  
на вході камери згоряння, °C,  $O_2'$  - вміст кисню в  
димових газах на вході камери згоряння, %,  $C_{\Gamma}'$  -  
теплоємність димових газів на вході камери зго-  
ряння, ккал/кг,  $V_{\Gamma}''$  - загальна витрата димових  
газів на виході камери згоряння, кг/год,  $V_{\Gamma}$  - загал-  
ьна витрата палива, що подається в камеру зго-  
ряння, кг/год,  $V_{\Gamma}^{\text{ПАЛ}}$  - витрата палива на пальники,  
кг/год,  $Q_{\text{Р}}^{\text{Н}}$  - нижча теплотворна здатність палива,  
ккал/кг,  $O_2''$  - вміст кисню в димових газах на ви-  
ході камери згоряння, %,  $V_{\text{В}}^{\text{О}}$  - теоретична витрата  
повітря на спалювання 1кг палива, кг/год,  $V_{\text{В}}$  -  
витрата повітря, що подається в камеру згоряння,  
кг/год,  $T_{\Gamma}''$  - температура газів на виході камери  
згоряння, °C,  $C_{\Gamma}''$  - теплоємність димових газів на  
виході камери згоряння, ккал/кг,  $\alpha$  - коефіцієнт  
надлишку повітря, причому температуру в камері  
згоряння підтримують в межах 850-1150°C.

Винахід відноситься до способів зниження то-  
ксичності димових газів паливоспалювальних аге-  
ратів, що містять кисень, зокрема, коксових ба-  
тарей, і може бути використаний в металургійній  
та інших галузях промисловості.

Відомий спосіб знешкодження димових газів  
паливоспалювальних агрегатів, що містять кисень,  
який характеризується тим, що знешкодження ди-  
мових газів ведуть у камері згоряння, при цьому

потік палива направляють у камеру згоряння, де  
спалюють у середовищі повітря, що надходить у  
камеру згоряння [див. авт. свід. СРСР №949295,  
М. кл. F23G7/06, опубл. 07.08.82р.].

Недоліками відомого способу є відсутність  
ефекту зниження оксидів азоту (далі -  $\text{NO}_x$ ), а та-  
кож підвищення витрати палива на знешкодження  
димових газів унаслідок збільшення коефіцієнта  
надлишку повітря в камері згоряння при подачі

(13) C2

(11) 70063

(19) UA

додаткової кількості повітря в знешкоджуванні димові гази.

Відомий спосіб знешкодження димових газів паливоспалювальних агрегатів, який характеризується тим, що знешкодження димових газів ведуть у камері згоряння, загальний потік палива розділяють на два потоки, перший потік палива змішують з димовими газами, які подають в камеру згоряння, другий потік палива направляють у пальники камери згоряння, де спалюють у середовищі повітря, а потім подають у камеру згоряння [див. авт. свід. СРСР №1564471, М. кл. F23G7/06, опубл. 15.05.90р.].

Недоліком відомого способу є утворення значної кількості  $\text{NO}_x$  у знешкоджуваних газах у результаті проходження димових газів через високотемпературну зону камери згоряння, що пов'язано з відсутністю можливості регулювання температурного рівня в камері згоряння, а також з відсутністю температурного та технологічного контролю режиму роботи камери згоряння.

Задачею цього винаходу є розробка ефективного способу знешкодження димових газів паливоспалювальних агрегатів, що забезпечує зниження концентрації оксидів азоту в димових газах, шляхом вибору виду палива, оптимізації подачі палива і повітря в камеру згоряння, а також регулювання температурного режиму на виході камери згоряння.

Поставлена задача розв'язується тим, що у відомому способі знешкодження димових газів паливоспалювальних агрегатів, який характеризується тим, що знешкодження димових газів ведуть у камері згоряння, загальний потік палива розділяють на два потоки, перший потік палива змішують з димовими газами, які подають в камеру згоряння, а другий потік палива направляють у пальники камери згоряння, де спалюють у середовищі повітря, а потім подають у камеру згоряння, відповідно до винаходу, у якості палива використовують коксовий газ або доменний газ, або генераторні гази, або суміш зазначених газів, при цьому загальну витрату димових газів ( $B_{\Gamma}''$ ) на виході камери згоряння, загальну витрату палива ( $B_{\Gamma}$ ), що подається в камеру згоряння, витрату повітря ( $B_B$ ), що подається в камеру згоряння і витрату палива ( $B_{\Gamma}^{\text{пал}}$ ), що подається на пальники, визначають у відповідності з наступною системою рівнянь (1), (2), (3), (4):

$$B_{\Gamma}'' = B_{\Gamma}' + B_{\Gamma} + B_B \quad (1)$$

$$B_{\Gamma} \cdot Q_{\Gamma}^H = B_{\Gamma}'' \cdot C_{\Gamma}'' \cdot T_{\Gamma}'' - B_{\Gamma}' \cdot C_{\Gamma}' \cdot T_{\Gamma}' \quad (2)$$

$$B_B = B_{\Gamma} \cdot V_B^O \cdot \alpha - \frac{(O_2' \cdot B_{\Gamma}' - O_2'' \cdot B_{\Gamma}'')}{21} \quad (3)$$

$$B_{\Gamma}^{\text{пал}} = \frac{(0,8 \div 3,0) \cdot B_B}{V_B^O} \quad (4)$$

де  $B_{\Gamma}'$  - витрата димових газів на вході камери згоряння, кг/год.;

$T_{\Gamma}'$  - температура димових газів на вході камери згоряння, °C;

$O_2'$  - вміст кисню в димових газах на вході камери згоряння, %;

$C_{\Gamma}'$  - теплоємність димових газів на вході камери згоряння, ккал/кг;

$B_{\Gamma}''$  - загальна витрата димових газів на виході камери згоряння, кг/год.;

$B_{\Gamma}$  - загальна витрата палива, що подається в камеру згоряння, кг/год.;

$B_{\Gamma}^{\text{пал}}$  - витрата палива на пальники, кг/год.;

$Q_{\Gamma}^H$  - нижча теплотворна здатність палива, ккал/кг;

$O_2''$  - вміст кисню в димових газах на виході камери згоряння, %;

$V_B^O$  - теоретична витрата повітря на спалювання 1 кг палива, кг/год.;

$B_B$  - витрата повітря, що подається в камеру згоряння, кг/год.;

$T_{\Gamma}''$  - температура газів на виході камери згоряння, °C;

$C_{\Gamma}''$  - теплоємність димових газів на виході камери згоряння, ккал/кг;

$\alpha$  - коефіцієнт надлишку повітря, а температуру в камері згоряння підтримують на рівні 850-1150°C.

Зазначена сукупність ознак дозволяє забезпечити зниження вмісту  $\text{NO}_x$  за рахунок оптимального вибору витрати і складу палива, а також визначити необхідну витрату повітря, що забезпечує підтримку необхідного температурного рівня в камері згоряння.

Заявлений спосіб реалізується за допомогою установки термічного знешкодження димових газів паливоспалювальних агрегатів, схема якої зображена на Фіг.

Димові гази від паливоспалювальних агрегатів, наприклад від коксової батареї 1, надходять у змішувач 2. Загальний потік палива подають по газопроводу 3, при цьому перший потік палива по газопроводу 4 направляють у змішувач 2, де змішують з димовими газами, а другий потік палива направляють по газопроводу 5 на пальники 6, де його спалюють в атмосфері повітря, що подається по повітропроводу 7, а потім подають у камеру згоряння 8. При цьому по повітропроводу 7 подають усе необхідне повітря з урахуванням кисню, що міститься в димових газах. У камері згоряння 8 відбувається спалювання газу і паливних компонентів димових газів. Одночасно відбувається зниження вмісту  $\text{NO}_x$  за рахунок його термічного розкладання в присутності  $\text{CO}$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  при температурі 850-1150°C. Процес горіння здійснюють таким чином, щоб температура на виході камери згоряння підтримувалася на рівні 850-1150°C. У цьому діапазоні температур забезпечується оптимальне знешкодження димових газів.

При зниженні температури нижче 850°C зростає вміст  $\text{CO}$ ; при підвищенні більше 1150°C - збільшується вміст  $\text{NO}_x$ .

Вміст кисню в димових газах на виході камери згоряння підтримується якомога мінімальним, наприклад 1-8%. При цьому забезпечується економічно доцільна утилізація тепла.

Нижче приведені результати випробовувань способу, що заявляється, на установці термічного знешкодження димових газів, яка змонтована на коксовій батареї №1 ОАО «Запорожжкокс».

Приклад реалізації способу, що заявляється.

В якості палива використовували коксовий газ наступного складу, у %:  $\text{CO}_2$  - 2,2;  $\text{O}_2$  - 1,1;  $\text{C}_m\text{H}_n$  - 2,2;  $\text{CO}$  - 6,3;  $\text{CH}_4$  - 25,3;  $\text{H}_2$  - 58,0;  $\text{N}_2$  - 4,9.

Теоретичну кількість кисню, що необхідна для спалювання коксового газу ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ), визначали за

формулою:

$$O_{2T}=0,01 \cdot [0,5 \cdot (CO+H_2)+2 \cdot CH_4+3,23 \cdot C_mH_n-O_2],$$

$$O_{2T}=0,888 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ газу або } O_{2T}=2,86 \text{ кг/кг газу.}$$

Теоретична кількість необхідного сухого повітря для спалювання коксового газу ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ) складала:

$$L_T=100 \cdot O_{2T}/21=4,33 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ газу або } L_T=13,62 \text{ кг/кг газу.}$$

$V_T'$  - витрата димових газів на вході камери згоряння складала  $140000 \text{ нм}^3/\text{год}$  або  $175000 \text{ кг/год}$ .

$T_T'$  - температура димових газів на вході камери згоряння -  $257^\circ\text{C}$ .

$T_T''$  - температура димових газів на виході камери згоряння -  $1000^\circ\text{C}$ .

$O_2'$  - вміст кисню в димових газах на вході камери згоряння -  $10\%$ .

$O_2''$  - вміст кисню в димових газах на виході камери згоряння -  $5\%$ .

$C_T'$  - теплоємність димових газів, що подаються у камеру згоряння, розраховувалася за їх складом:

$$CO_2 - 6\%; O_2 - 10\%; H_2O - 11\%; N_2 - 73\%;$$

$$C_T'=0,010+0,022+0,042+0,184=0,258 \text{ ккал/кг.}$$

$C_T''$  - теплоємність газів на виході з камери згоряння розраховували також за їх складом:

$$CO_2 - 8\%; O_2 - 5\%; H_2O - 10\%; N_2 - 77\%;$$

$$C_T''=0,021+0,012+0,051+0,205=0,289 \text{ ккал/кг;}$$

$Q_P^H$  - нижча теплотворна здатність палива  $3980 \text{ ккал/м}^3$  або  $9091 \text{ ккал/кг}$ ;

$\alpha$  - коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha=1+K \cdot \frac{O_2}{CO_2},$$

де  $O_2$  - вміст надлишкового кисню в сухих продуктах згоряння, %;

$CO_2$  - вміст двоокису вуглецю в сухих продуктах згоряння;

$$\text{Співвідношення } K = \frac{CO_2 + CO_T' + CH_4^T + 2 \cdot C_2H_4^T}{O_{2T}}$$

змінюється в залежності від складу палива і складає для коксового газу -  $0,42$ , для доменного -  $2,54$ , для генераторного -  $2,4$ .

$V_T''$  - витрату газів на виході камери згоряння визначали за формулою (1).

Після підстановки  $V_T$  за формулою (2) і  $V_B$  за формулою (3) одержали рівняння:

$$V_T'' = V_T' \cdot \frac{1 - \frac{O_2'}{21} - \frac{C_T' \cdot T_T' \cdot (1 + V_B^O \cdot \alpha)}{Q_P^H}}{1 - \frac{O_2''}{21} - \frac{C_T'' \cdot T_T'' \cdot (1 + V_B^O \cdot \alpha)}{Q_P^H}}$$

де

$$\frac{C_T' \cdot T_T' \cdot (1 + V_B^O \cdot \alpha)}{Q_P^H} = \frac{0,258 \cdot 257 \cdot (1 + 12,41)}{9091} = 0,097;$$

$$\frac{C_T'' \cdot T_T'' \cdot (1 + V_B^O \cdot \alpha)}{Q_P^H} = \frac{0,28 \cdot 1000 \cdot (1 + 12,41)}{9091} = 0,413.$$

$$V_T'' = 175000 \cdot \frac{1 - 0,097 - \frac{O_2'}{21}}{1 - 0,413 - \frac{O_2''}{21}} =$$

$$= 175000 \cdot \frac{0,903 - 0,476}{0,587 - 0,338} = 214112,5 \text{ кг/год.}$$

$$\text{або } V_T'' = 16852,54 \text{ нм}^3/\text{год.}$$

Після перетворення формули (2), одержали загальну витрату палива, що подається в камеру згоряння,  $V_T$ ,  $\text{кг/год}$ .

$$V_T = \frac{214112,5 \cdot 0,28 \cdot 1000 - 175000 \cdot 0,258 \cdot 257}{9091} =$$

$$= 6594,5 - 1276,4 = 5318,1 \text{ кг/год.}$$

$$\text{або } V_T = 12086,6 \text{ нм}^3/\text{год.}$$

З формули (3) визначили витрату повітря, що подається в камеру згоряння,  $V_B$ :

$$V_B = 5318,1 \cdot 12,4 \cdot 1 - \frac{(175000 \cdot 10 - 214112,5 \cdot 5)}{21} =$$

$$= 65944,4 - 32354,2 = 33590,2 \text{ кг/год.}$$

$$\text{або } V_B = 33590,2/1,29 = 26039 \text{ нм}^3/\text{год.}$$

Розрахувавши витрату палива на пальники  $V_T^{\text{ПАЛ}}$  за формулою (4) одержали:

$$V_T^{\text{ПАЛ}} = 1 \cdot \frac{33590,2}{12,4} = 2708,9 \text{ кг/год, або}$$

$$V_T^{\text{ПАЛ}} = 2708,9/0,44 = 6156,6 \text{ нм}^3/\text{год.}$$

У такий спосіб були визначені основні значення розрахункових величин при реалізації способу знешкодження димових газів, що заявляється.

При зазначених параметрах роботи установки термічного знешкодження димових газів отримані наступні результати (за зниженням концентрації  $CO$  і  $NO_x$  у димових газах):

вміст  $CO$  на вході в установку -  $4170 \text{ мг/м}^3$ ;

вміст  $CO$  на виході з установки -  $0 \text{ мг/м}^3$ ;

вміст  $NO_x$  на вході в установку -  $740 \text{ мг/м}^3$ ;

вміст  $NO_x$  на виході з установки -  $467 \text{ мг/м}^3$ .

Нижче наведені результати випробовувань з різною температурою в камері згоряння при використанні коксового газу.

Таблиця 1

Рівень температур на виході камери згоряння, $^\circ\text{C}$	Вміст $CO$ , $\text{мг/м}^3$		Вміст $NO_x$ , $\text{мг/м}^3$	
	на вході в камеру згоряння	на виході з камери згоряння	на входе в камеру згоряння	на виході з камери згоряння
1190	4150	0	740	730
850-1150	4150-4170	0-80	730-750	360-490
800	4150	750	740	700

З даних, наведених у Таблиці 1, випливає, що в пропонованому температурному діапазоні  $850-1150^\circ\text{C}$  спостерігається практично повне знешкодження димових газів від  $CO$  та зниження  $NO_x$  на

$40-50\%$ . При зниженні температури нижче  $850^\circ\text{C}$  спостерігається різке збільшення вмісту  $CO$ . При цьому вміст  $NO_x$  залишається практично на тому ж рівні. Підвищення температури більше  $1150^\circ\text{C}$

призводить до зниження ефекту знешкодження димових газів від  $\text{NO}_x$  за рахунок інтенсивного утворення оксидів азоту при спалюванні коксового газу в камері згоряння.

Аналогічні результати отримані в лабораторних умовах при використанні в якості палива доменного газу, суміші доменного газу з коксовим газом, а також генераторного газу. Дані проведе-

них випробувань наведені в Таблицях 2, 3.

У Таблиці 2 наведено результати випробувань з різною температурою в камері згоряння при використанні доменного газу.

У Таблиці 3 наведено результати випробувань з різною температурою в камері згоряння при використанні генераторного газу.

Таблиця 2

Рівень температур на виході камери згоряння, °C	Вміст CO, мг/м <sup>3</sup>		Вміст NO <sub>x</sub> , мг/м <sup>3</sup>	
	на вході в камеру згоряння	на виході з камери згоряння	на вході в камеру згоряння	на виході з камери згоряння
1160	5400	80-160	520	490
850-1150	5300-5500	0-120	510-530	290-310
840	5400'	820	520	500

Таблиця 3

Рівень температур на виході камери згоряння, °C	Вміст CO, мг/м		Вміст NO <sub>x</sub> , мг/м <sup>3</sup>	
	на вході в камеру згоряння	на виході з камери згоряння	на вході в камеру згоряння	на виході з камери згоряння
1160	6200	40-150	640	610
850-1150	6150-6250	0-110	630-650	330-350
840	6200	760	640	600

