

Invenția se referă la energetică și poate fi utilizată în echipamentele termoenergetice: cazane cu abur, cuptoare industriale etc.

În scopul ameliorării randamentului procesului de ardere și reducerii conținutului de noxe (NO_x) în gazele arse este cunoscut procedeul de ardere conform căruia combustibilul se amestecă în prealabil cu apă, amestecul se încălzește și se evaporă, iar amestecul de vapori de combustibil și apă se încălzește și se vehiculează concomitent printr-un catalizator cu formarea în procesul catalitic a hidrogenului și monoxidului de carbon, care apoi se ard. Datorită folosirii parțiale a oxigenului legat din apă se reduce cantitatea de aer necesară arderii, iar odată cu ea și cantitatea de azot, introdus în focar, care formează noxele [1].

Dezavantajul procedeului dat constă în faptul că reacțiile de gazificare sau conversie catalitică a hidrocarburilor din combustibil, fiind endotermice, necesită un aport considerabil de căldură pentru menținerea procesului catalitic ce limitează domeniul de stabilitate al procesului de ardere. Un alt dezavantaj este creșterea conținutului de vapori de apă în gazele arse care intensifică procesele de coroziune a suprafețelor metalice ale schimbătoarelor de căldură din stratul de fum. Procedeul menționat asigură doar micșorarea parțială a noxelor, deoarece pentru ardere se folosește în final aerul de combustie. În afară de aceasta procedeul cunoscut nu evită formarea oxizilor de sulf, care de asemenea este un poluant atmosferic nociv și care participă la coroziunea acidă a suprafețelor de schimb de căldură.

Mai este cunoscut procedeul de ardere a gazelor combustibile prin încălzirea gazelor și a aerului de combustie, amestecarea, aprinderea și arderea amestecului [2].

Însă datorită folosirii aerului în procesul de ardere, prezenței compușilor sulfului și azotului în combustibil și amestecării imperfecte dintre componentele arderii, în produsele rezultate din ardere există un conținut mare de noxe, oxizi de sulf și gaze combustibile nearchive.

Cel mai apropiat după esența tehnică și rezultatul obținut este procedeul de ardere a gazelor combustibile prin încălzirea gazelor și a aerului de combustie, îmbogățirea aerului cu oxigen prin separarea din el a azotului, ionizarea gazelor și a aerului cu polarități opuse în câmpuri electrice radiale, orientate transversal direcției curgerii acestora, amestecarea prin aglomerarea ionilor de aer îmbogățit cu oxigen și de gaze combustibile în câmp electric constant, aprinderea și arderea amestecului [3]. Separarea azotului din aerul de combustie se efectuează prin vehicularea aerului la presiuni mai mari decât cea atmosferică printr-un strat de granule poroase de adsorbant al azotului.

Cea mai apropiată instalație după esența tehnică și rezultatul obținut este instalația care prezintă un plasmotron, constituit dintr-o cameră de admisie a gazelor, în care este instalat un sistem de electrozi coaxiali cu electrod interior executat sub formă de tijă fuzelată și cu cel exterior sub formă tubulară, și dintr-un solenoid care înfășoară electrodul tubular [4].

Procedeul cunoscut reduce formarea noxelor prin separarea din aerul de combustie a azotului, însă nu și formarea oxizilor de sulf. Procedeul este complicat în realizare și necesită o instalație sofisticată cu gabarite mari care ocupă o suprafață mare de producție.

Instalația cunoscută este destinată generării plasmelor prin descărcarea în aer, consumând doar energie electrică, dar nu și producând energie prin arderea combustibilului. Chiar dacă este cea mai apropiată soluție de instalația propusă, plasmometrul descris nu poate fi folosit pentru arderea gazelor combustibile, cu atât mai mult pentru reducerea formării oxizilor de sulf, azot în produsele rezultate din ardere.

Problema pe care o rezolvă prezenta invenție constă în realizarea unui procedeu de ardere a gazului combustibil, sau a combustibililor lichizi și solizi convertiți în gaze cu conținut redus nu numai de noxe, ci și de oxizi de sulf folosind o instalație simplă și compactă.

Esența invenției constă în aceea că procedeul de ardere a gazului combustibil include încălzirea gazului și a aerului de combustie, îmbogățirea aerului cu oxigen și separarea din el a azotului, ionizarea gazului și a aerului într-un câmp electric radial cu polarități opuse, orientat transversal direcției curgerii acestora, amestecarea, aprinderea și arderea amestecului, transformarea în câmpul electric radial a gazului combustibil și a aerului de combustie în plasmă parțial ionizată până la densități de particule încărcate egale cu 1...10 % din densitatea sumară a fiecăruia dintre ele, magnetizarea și centrifugarea plasmelor formate cu o viteză de rotație de $5 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^4$ m/s sub acțiunea unui câmp magnetic orientat în sensul direcției curgerii cu nivelul inducției:

$$B > \frac{8kT}{3\pi D} \cdot \frac{c}{e} \quad (1)$$

unde B – inducția câmpului magnetic, T;

k – constanta Boltzmann ($k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K);

T – temperatura absolută a plasmelor, K;

c – viteza luminii în vid ($c \approx 2,998 \cdot 10^8$ m/s);

$\pi = 3,14$

D – coeficientul de difuzie a particulelor încărcate, m^2/s ;

e – sarcina electronului ($e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ C),

preîncălzirea gazului combustibil și a aerului de combustie se efectuează prin recuperarea căldurii disipate sub acțiunea câmpurilor magnetic și electric, iar amestecarea, aprinderea și arderea acestora se realizează după separarea prin centrifugare a sulfului și azotului din gazul combustibil și respectiv a azotului din aerul de combustie.

Instalația de ardere a gazului combustibil include o cameră de admisie și separare a gazului (1) dotată cu un sistem de electrozi instalați coaxial: unul interior executat ca o tijă cu capătul liber rotunjit și altul exterior tubular înfășurat cu un solenoid; consecutiv cu camera de admisie și separare a gazului combustibil (1) sunt situate o cameră de admisie și separare a aerului de combustie (5), identică cu prima, fiind separată de aceasta printr-un perete impermeabil (11), și o cameră de amestecare a componentelor separate (9); coaxial cu electrozidul interior (2) este amplasat al doilea electrod interior tubular (6), cavitatea lui, formând un canal central de evacuare a componentelor separate, unește camera de admisie și separare a gazului combustibil (1) cu camera de amestecare a componentelor separate, solenoizii înfășurați pe electrozii exteriori tubulari sunt montați în mantale (16,17), cuplate prin niște conducte de gaz combustibil și de aer de combustie la intrările respectiv în camera de admisie și separare a gazului combustibil și în camera de admisie și separare a aerului de combustie.

Rezultatul obținut constă în aceea procedeu și instalația propuse permite de a micșora conținutul emisiilor nocive NO_x și SO_x de 1,5...1,8 ori comparativ cu cea mai apropiată soluție.

Rezultatul tehnic obținut este condiționat de creșterea coeficientului radial de separare α în intervalul $B > B_{cr}$, debitul relativ de componenți care determină viteza de ardere a instalației și productivitatea acesteia se află în intervalul gradului de ionizare 1...10%.

Transformarea gazelor combustibile și a aerului de combustie în stare de plasmă parțial ionizată sub acțiunea câmpurilor electrice radiale permite obținerea unui mediu încărcat cu proprietăți de plasmă care poate fi manipulat în direcția dorită prin aplicarea câmpurilor magnetice încrucișate cu câmpurile electrice.

Aplicarea câmpurilor magnetice orientate în sensul curgerii gazelor combustibile și a aerului de combustie permite magnetizarea și centrifugarea plamei formate. În câmp magnetic perpendicular pe vectorul intensității câmpului electric, particulele încărcate se vor roti în jurul liniilor de forță cu viteza unghiulară Larmor (frecvența ciclotronică):

$$\omega = \frac{e \cdot B}{m_0 \cdot c}, \quad (2)$$

în care m_0 este masa particulei încărcate.

Dacă această frecvență este mai mare ca frecvența ciocnirilor particulelor între ele, adică

$$\frac{eB}{m_0 c} \frac{\langle u \rangle}{\langle \lambda \rangle} = \frac{\left(\sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} \right)^2}{3D} = \frac{8kT}{3\pi D m_0}, \quad (3)$$

în care $\langle u \rangle$ este viteza medie a particulelor; $\langle \lambda \rangle$ – parcursul liber al particulelor, atunci plasma se consideră magnetizată.

Din relația (3) se obține condiția (1) pentru valorile inducției câmpului magnetic la care plasma devine magnetizată.

Plasma magnetizată sub acțiunea câmpurilor electric și magnetic încrucișate se va mișca integral în direcția ortogonală la câmpurile aplicate, cu viteza de derivă:

$$v = -c \frac{|\vec{E} \times \vec{B}|}{B^2} \quad (4)$$

în care E este intensitatea câmpului electric.

Deoarece câmpul electric este orientat radial la axele electrozidului tubular, iar câmpul magnetic – paralel la această axă, plasma se va roti, având loc centrifugarea acesteia. Pentru o anumită valoare a densității plamei câmpul magnetic trebuie să aibă inducție constantă pentru a menține plasma în stare magnetizată, de aceea viteza de rotație a plamei va depinde doar de intensitatea câmpului electric E . Vitezele de rotație $v = 5 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^4$ m/s (în funcție și de natura gazelor) sunt de zeci de ori mai mari decât cele realizate de centrifugile mecanice. La aceste valori ale vitezei v în plasmă sau în gaze are loc separarea centrifugată a atomilor și a ionilor în funcție de masele acestora.

Ionizarea parțială a plamei formate până la densități a particulelor încărcate egale cu 1...10% din densitatea sumară a gazelor combustibile sau a aerului permite realizarea procesului de separare prin centrifugarea plamei la presiuni egale sau mai mari ca presiunea atmosferică ceea ce din punct de vedere tehnologic este mai avantajos, crescând productivitatea procesului de separare.

Preîncălzirea gazelor combustibile și a aerului de combustie prin recuperarea căldurii disipate la aplicarea câmpurilor magnetice, conduce la creșterea randamentului procesului de ardere.

Separarea prin centrifugare a sulfului și azotului din gazele combustibile, respectiv a azotului din aerul de combustie înainte ca componentele arderii să fie amestecate, aprinse și arse asigură reducerea formării oxizilor de sulf și de azot, ceea ce diminuează impactul ecologic al tehnologiei și instalației de ardere și previne coroziunea acidă a schimbătoarelor de căldură.

Disponerea consecutiv cu camera de admisie și separare a gazelor combustibile a camerei de admisie și separare a aerului de combustie având construcție analogică cu prima, însă separată de aceasta printr-un perete impermeabil și a camerei de amestecare a componentelor separate necesare arderii asigură transformarea gazelor combustibile și a aerului de combustie în plasma magnetizată, separarea azotului și sulfului din gazele combustibile și a azotului din aerul de combustie înainte de amestecare. Peretele impermeabil exclude amestecarea atomilor grei de sulf și de azot din camera de admisie și separare a gazelor combustibile cu componentele din aer separate în camera de admisie și separare a aerului de combustie și permite evacuarea acestora din spațiul de lucru al camerei prin canalul periferic în rezervorul de sulf și azot.

Instalarea canalelor de evacuare centrale și periferice ale componentelor separate din gazele combustibile și din aerul de combustie permite separarea ionilor grei de sulf și azot de celelalte componente ale arderii.

Asigurarea posibilităților de comunicare a camerei de amestecare cu camera de admisie și separare a gazelor combustibile prin canalul de evacuare central al acesteia și tubul, sub forma căruia este executat electrodul interior al camerei de admisie și separare a aerului, iar cu ultima – prin canalul de evacuare periferic al acesteia permite admisia în camera de amestecare a componentelor arderii separate de azot și sulf.

Montarea solenozilor în mantale, cuplate în contururile de gaze combustibile și de aer la intrările în camerele de admisie și separare respective permite recuperarea căldurii disipate de solenoizi pentru preîncălzirea gazelor combustibile și a aerului de combustie.

Invenția se explică prin desenul din figură, care reprezintă secțiunea longitudinală a instalației de ardere a gazelor combustibile.

Instalația de ardere a gazelor combustibile este constituită din camera de admisie și separare (1) a gazelor, în care este instalat un sistem de electrozi coaxiali cu electrodul interior (2), executat ca o tijă cu capătul liber rotunjit, și cu electrodul exterior (3) de formă tubulară. Solenoidul (4) înfășoară electrodul tubular (3). Consecutiv cu camera de admisie și separare (1) sunt dispuse camera de admisie și separare a aerului de combustie (5) cu electrodul interior (6), executat în formă de tub, și electrodul exterior tubular (7), înfășurat de solenoidul (8), și camera de amestecare având un perete cilindric (9) și un perete în formă de difuzor (10) cu unghiul de evazare de 8° . Camera (5) este separată de camera (1) prin peretele impermeabil (11).

La ieșirile din electrozii exteriori tubulari (3) și (7) sunt prevăzute canalele de evacuare centrale (12) și (13) și canalele de evacuare periferice (14) și (15).

Camera de amestecare (9), (10) comunică cu camera de admisie și separare (1) prin canalul de evacuare central (12) și prin tubul (6) care are forma electrodului interior. Camera de admisie și separare (5) comunică cu camera amestecare (9), (10) prin canalul de evacuare periferic (15).

Solenozii (4) și (8) sunt montați în mantalele (16) și (17) cuplate în conturile de gaze combustibile GC și de aer A la intrările în camerele de admisie și separare (1) și (5).

Bornele "a" și "b", respectiv "c" și "d" sunt conectate la sursele de înaltă tensiune cu polarități opuse.

Amestecul de sulf și de azot S+N și azotul N sunt evacuate din camerele (1) și (5) ale instalației și stocate în rezervoare (în figură rezervoarele nu sunt arătate).

Izolarea părților electrice ale instalației de electrozii tubulari (3) și (7) este asigurată de garniturile electroizolatoare (18).

Procedul de ardere a gazelor combustibile este realizat de instalația propusă în modul următor.

Gazele combustibile GC sunt refulate prin spațiul dintre electrozii (3) și mantaua (16) răcind solenoidul (4) și preîncălzindu-se. În continuare acestea sunt refulate în camera de admisie și separare (1). Sub acțiunea câmpului electric radial dintre electrozii coaxiali (2) și (3) gazele combustibile preîncălzite sunt ionizate transformându-se în plasmă parțial ionizată până la densități ale particulelor încărcate egale cu 1...10% din densitatea lor sumară. Sub acțiunea câmpului magnetic creat de solenoidul (4) și orientat în sensul curgerii gazelor prin camera (1) la inducții care satisfac condiția (1) plasma devine magnetizată. Sub acțiunea comună a câmpurilor electric și magnetic plasmei magnetice îi este implicată o mișcare de rotație în jurul axei longitudinale a sistemului de electrozi (2) și (3) cu viteza determinată de relația (4), care pentru $B=const$ este funcție de intensitatea câmpului electric E . Valoarea intensității E se alege astfel ca modulul vitezei determinate de relația (4) să constituie $5 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^4$ m/s.

În aceste condiții în urma încălzirii, ciocnirilor dintre electroni și ioni și în urma altor procese orice compus chimic din plasmă este scindat în atomi, o parte din care, la rândul lor, se ionizează. Datorită vitezei mari de rotație, atomii mai grei sau ionii se vor plasa în vecinătatea peretelui electrodului (3), iar cei mai ușori – la pereții electrodului (2) spre centrul camerei (1). În conformitate cu masele atomice în partea centrală a camerei (1) se vor afla atomii și ionii mai ușori de hidrogen și de carbon, iar la periferie – atomii și ionii mai grei de sulf, azot, eventual oxigen. Amestecul de carbon și hidrogen (C+H) prin canalul de evacuare central (12) și tubul (6) va fi refulat în camera de amestecare (9), (10), iar amestecul de sulf și azot (S+N), eventual și de oxigen prin canalul de evacuare periferic (14) spre rezervorul de stocare. În prezența oxigenului din combustibil este posibilă oxidarea azotului și sulfului, căldura degajată fiind utilizată pentru încălzirea plasmei.

Aerul A refulat prin spațiul dintre mantaua (17) și electrodul (7) răcește solenoidul (8) și preîncălzindu-se este refulat în camera de admisie și separare (5) a aerului. Sub acțiunea unor câmpuri similare în camera (5) au loc aceleași procese ca și în camera (1), atomii de oxigen (O) localizându-se la periferie, iar atomii de azot (N) eventual și celelalte componente mai ușoare din aer – în zona centrală a camerei (5). Unica particularitate este că, ionii periferici care formează plasma au polaritate opusă ionilor din centrul camerei (1). Azotul din partea centrală a camerei (5) prin

canalul de evacuare central (12) este refulat în rezervorul de stocare (pentru întrebuințări chimice și tehnice), iar oxigenul din partea periferică prin canalul de evacuare periferic (15) va fi refulat în camera de amestecare (9), (10).

Datorită polarităților opuse ale ionilor de oxigen pe de o parte, și a ionilor de carbon și hidrogen, pe de altă parte, precum și stării atomare excitate a componentelor arderii va avea loc o amestecare bună a acestora și o ardere ecologic pură, deoarece azotul și sulful au fost reținuți în camerele (1) și (5).

Coeficientul de separare radial este funcție exponențială de diferența relativă a maselor componentelor separate și de parametrul $\Theta = Mv^2/3RT$, care este analogul pătratului numărului Mach în hidrodinamică, unde M este masa molară, iar R – constanta universală a gazului.

Exemplu. Procedul propus a fost testat în condiții de laborator. În experiență s-a modificat inducția câmpului magnetic B , intensitatea câmpului electric E , gradul de ionizare și parametrul Θ , determinându-se influența acestora asupra coeficientului radial de separare α . Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelele 1 și 2 în care valorile lui B_{cr} se calculează cu relația (1), iar debitul B_0 al componentelor – pentru arderea clasică, în lipsa câmpurilor electric și magnetic.

Conținutul NO_x și SO_x în gazele arse se determină cu ajutorul analizatorului de gaze "TESTO-350". S-a stabilit că procedul și instalația propuse permit de a micșora conținutul emisiilor nocive NO_x și SO_x de 1,5...1,8 ori în comparație cu cea mai apropiată soluție.

Tabelul 1

Influența gradului de ionizare asupra coeficientului radial de separare α a componentelor N+S sau N și debitului relativ al componentelor B/B_0

Amestec de componente	A+C+N+S					N+O				
	1,5					1,5				
B/B _{cr}										
Grad de ionizare, %	0,5	1,0	5,0	10,0	15,0	0,5	1,0	5,0	10,0	15,0
Θ	0,5	0,8	1,5	2,0	2,5	0,5	0,8	1,5	2,0	2,5
E, kV/cm	15	20	25	30	55	15	20	25	30	55
V, m/s	$1,2 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$
α	1,7	6,2	18,8	125	300	1,4	3,5	10,3	86	188
Debitul relativ B/B ₀	0,6	1,2	2,3	3,6	0,8	0,5	1,1	2,0	3,2	0,7

Tabelul 2

Influența inducției relative a câmpului magnetic B/B_{cr} asupra coeficientului α

Amestec de componente	H+C+N+S				N+O			
	Grad de ionizare, %	10				10		
Θ	2,0				2,0			
E, kV/cm	30				30			
V, m/s	$1,4 \cdot 10^4$				$1,4 \cdot 10^4$			
B/B _{cr}	0,8	1,0	1,5	2,0	0,8	1,0	1,5	2,0
α	1,0	1,0	125	136	1,0	1,0	86	92

Se observă că coeficientul radial de separare α crește în intervalul $B > B_{cr}$, iar debitul relativ al componentelor care determină viteza de ardere a instalației și productivitatea acestuia – în intervalul gradului de ionizare 1...10%.