

Invenția se referă la ramura energetică și desăvârșește procedeul și instalația de ardere a combustibilului gazos în utilajele termoelectrice (cazane de abur, centrale termoelectrice, 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 prealabil cu apă, amestecul se încălzește și se vaporizează, 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 necesar arderii, iar odată cu el și cantitatea de azot, introdus în focar, care formează noxele [1].

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 traseul de fum. Procedeul de mai sus asigură doar micșorarea parțială a noxelor, deoarece pentru ardere se folosește în final aerul de combustie.

Mai este cunoscut procedeul de ardere a combustibilului gazos prin preîncălzirea și amestecarea lui prealabilă cu oxigen tehnic, urmând aprinderea și arderea amestecului carburant. Acest procedeu reduce la minim formarea noxelor și asigură un randament bun de ardere, însă are aplicații limitate (industria chimică, aparatele de sudură etc.) și nu se folosește în energetică din cauza costului ridicat al oxigenului și pericolului mare de explozie la depozitarea acestuia [2].

Cea mai apropiată soluție după esența tehnică și rezultatul obținut este procedeul de ardere a gazelor combustibile prin preîncălzirea lor și a aerului de combustie, amestecarea, aprinderea și arderea [3].

Instalația de ardere folosită pentru realizarea acestui procedeu este constituită din cel puțin un arzător cu camera de amestecare montată în ambrazura unui focar și cu camerele de admisie a aerului de combustie și de gaze combustibile cuplate respectiv la ieșirile din preîncălzitoarele regenerative de aer de combustie și de gaze combustibile, amplasate în canalul de gaze arse al focarului, la intrările cărora sunt cuplate ventilatoare de refulare a aerului atmosferic și a gazelor combustibile [3].

Procedeul și instalațiile cunoscute sunt simple în realizare și au cunoscut cea mai largă aplicare în energetică. Însă datorită folosirii aerului în procesul de ardere și amestecării imperfecte dintre acesta și gazele combustibile, în produsele rezultate în urma arderii există un conținut mare de noxe și gaze combustibile nearse.

Problema pe care o rezolvă invenția este de a realiza un procedeu de ardere a combustibililor gazoși cu randament ridicat de ardere și conținut redus de noxe și gaze combustibile în produsele arderii.

Procedeul de ardere a gazelor combustibile, conform invenției, înlătură dezavantajele de mai sus prin aceea că el include preîncălzirea lor și a aerului de combustie, amestecarea și aprinderea lor, iar înainte de încălzire, aerul de combustie se îmbogățește cu oxigen prin separarea din el a azotului ce se efectuează prin vehicularea aerului la presiuni mai mari decât cea atmosferică printr-un strat de granule poroase de adsorbant al azotului, iar înainte de amestecare aerul îmbogățit cu oxigen și gazele combustibile se ionizează cu polarități opuse, amestecarea și aprinderea fiind efectuate prin aglomerarea ionilor de aer îmbogățit și de gaze combustibile într-un câmp electric constant.

Instalația de ardere a gazelor combustibile, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că instalația constituită din cel puțin un arzător cu camera de amestecare unită cu ambrazura unui focar și cu camere de admisie a aerului de combustie și de gaze combustibile cuplate respectiv la ieșirile din preîncălzitoarele regenerative de aer de combustie și de gaze combustibile, amplasate în canalul de gaze arse al focarului, la intrările cărora sunt cuplate mașini de refulare a aerului atmosferic și a gazelor combustibile, în camerele de admisie ale arzătorului fiind amplasate câte un sistem de electrozi cu descărcare corona, fiecare cu polaritate opusă față de celălalt, în camera de amestecare este poziționat un sistem de electrozi de aglomerare a particulelor de gaze ionizate în camerele de admisie, în calitate de mașină de refulare a aerului atmosferic este utilizat un compresor de înaltă presiune, la intrarea în camera de admisie a aerului de combustie este cuplată o turbină de gaze ce antrenează un generator electric, la bornele căruia este conectată sursa de înaltă tensiune, iar la sursă - sistemul de electrozi cu descărcări corona și de aglomerare a particulelor ionizate, între compresor și preîncălzitorul regenerativ de aer sunt cuplate în paralel două separatoare cu straturi de granule poroase de adsorbant al azotului, fiecare cu ventile de comandă la intrare și ieșire, dotate cu un sistem automat de dirijare, la ieșirile din separatoare prin câte un ventil de comandă paralel este cuplat un compresor și un rezervor de azot, la intrarea căruia sunt cuplate succesiv două ventile de comandă, ultimul fiind unit în paralel cu compresorul de azot, iar sistemul automat de dirijare a separatoarelor este constituit dintr-un bloc de comandă legat funcțional cu ventilele de comandă, cu electromotorul compresorului de azot, cu două analizoare de gaze și cu doi senzori de presiune, amplasați câte unul la ieșirile din separatoarele de azot, și cu un senzor de presiune amplasat în rezervorul de azot.

Separarea din aerul de combustie a azotului sporește esențial în el conținutul de oxigen ce reduce la minimum formarea noxelor și ameliorează randamentul procesului de ardere.

Ionizarea aerului îmbogățit și a gazelor combustibile cu polarități opuse asigură condițiile desfășurării bune a procesului ulterior de aglomerare în care se folosește cel mai eficient mecanism de aglomerare electrică - interacțiunea coulombică a ionilor de oxigen și a ionilor de gaze combustibile. Astfel, ionii de oxigen cu sarcină de o polaritate sunt atrași de ionii de gaze combustibile cu sarcină de polaritate opusă. În final, se formează un amestec intim de carburant cu oxidantul care concomitent se aprinde în urma microdescărcărilor electrice la neutralizarea sarcinilor. Aceste efecte ameliorează randamentul arderii, reduce conținutul de gaze combustibile nearse în produsele rezultate din contul arderii

complete a amestecului astfel format și sporesc stabilitatea procesului de ardere prin prezența microdescărcărilor electrice care stimulează aprinderea continuă a amestecului.

Separarea azotului din aerul de combustie prin vehicularea aerului la presiuni mai mari decât cea atmosferică printr-un strat de granule poroase de adsorbant sporește economicitatea procesului de îmbogățire a aerului cu oxigen.

Amplasarea în camerele de admisie ale arzătorului a sistemelor de electrozi cu polarități opuse permite ionizarea unipolară a aerului îmbogățit și a gazelor combustibile prin descărcare corona, adică pregătirea lor pentru amestecare efectivă prin aglomerare.

Poziționarea în camera de amestecare a unui sistem de electrozi pentru aglomerarea particulelor de gaze ionizate în camerele de admisie asigură amestecarea efectivă a componentelor arderii prin aglomerare cu utilizarea mecanismului interacțiunii coulombice dintre particulele ionizate cu semne opuse.

Înlocuirea ventilatorului utilizat în cea mai apropiată soluție cu un compresor de înaltă presiune asigură separarea efectivă a azotului în stratul de granule poroase din contul intensificării procesului de adsorbție la creșterea presiunii.

Cuplarea turbinei cu gaze cu generatorul electric, la bornele căruia este conectată sursa de înaltă tensiune, iar la sursă sistemele de electrozi cu descărcare corona și pentru aglomerarea particulelor mărește randamentul de ardere prin utilizarea energiei potențiale a aerului comprimat la acoperirea consumului de energie pentru necesitățile proprii ale instalației de ardere (energia electrică necesară ionizării și aglomerării particulelor de gaze). În afară de aceasta, procesele de ionizare și aglomerare devin astfel autodirijate: la vehicularea aerului cu cât este mai mare presiunea, cu atât mai mare este debitul de aer îmbogățit prin arzător și cu atât este mai mare puterea electrică la bornele generatorului. Deoarece la debite mari de aer consumul de energie electrică pentru ionizare și aglomerare este mai mare, producerea energiei electrice este corelată de consumul ei. La debite nule alimentarea electrozilor cu energie electrică este suspendată, ceea ce exclude cheltuielile inutile de energie.

Cuplarea între compresorul de aer atmosferic și turbina cu gaze a separatoarelor cu straturi de granule poroase de adsorbant al azotului permite separarea azotului din aerul atmosferic la presiuni înalte, ceea ce reduce la minimum formarea noxelor în focar la temperaturi înalte. Cuplarea a două separatoare în paralel asigură regimul permanent de separare a azotului. Astfel, la saturația granulelor de adsorbant din separatorul în funcțiune cu azot, acesta se decuplează de la instalația de ardere și se trece în regim de regenerare, care are loc la presiuni joase. În locul lui se pune în funcțiune al doilea separator. Regimurile de funcționare și regenerare a adsorbantului se succed unul cu altul datorită dotării separatoarelor cu sistemul automat de dirijare legat funcțional cu ventilele de comandă, cu electromotorul compresorului de azot, cu analizoarele de gaze și senzorii de presiune amplasați la ieșirile din separatoare și în rezervoarele de azot.

Cuplarea la ieșirile separatoarelor de azot, a compresorului și rezervorului de azot cu ventile de comandă permite depozitarea automată a azotului, la regenerarea adsorbantului din separatorul respectiv pentru folosirea lui în calitate de produs secundar în industria chimică etc. Acest fapt de asemenea mărește randamentul și economicitatea instalației de ardere.

Preîncălzirea aerului îmbogățit la presiune înaltă înainte de ionizarea lui, adică amplasarea preîncălzitorului de aer între separatoare și camera de admisie-ionizare, sporește eficiența transferului de căldură de la gazele arse la aerul de combustie și înlesnește procesul de ionizare deoarece la temperaturi ridicate energia de ionizare a gazului scade.

Se prezintă în continuare un exemplu de realizare a invenției, în legătură și cu figura, care reprezintă schema de organizare a procesului de ardere a gazelor combustibile.

Instalația de ardere a gazelor combustibile este constituită din arzătorul 1 cu camera de amestecare 2 montată în ambrazura 3 a focarului 4. În camera de amestecare 2 sunt poziționați electrozii 5 și 6 pentru aglomerarea electrică a particulelor ionizate de gaze. În camerele de admisie a aerului îmbogățit de combustie 7 și a gazelor combustibile 8 ale arzătorului 1 sunt amplasate sistemele de electrozi 9, 10, 11 și 11, 12, 13 tip "plan-fire". Electrozii plani 9, 11 și 12 sunt conectați cu pământul, iar electrozii tip "fir" 10 și 13 sunt conectați la bornele cu polarități negative respectiv pozitive ale sursei de înaltă tensiune 14. Electrozii 5 și 6 sunt conectați respectiv la bornele "a" cu polaritate pozitivă și "b" cu polaritate negativă ale sursei 14. Camerele de admisie 7 și 8 sunt respectiv cuplate la ieșirile preîncălzitorului regenerativ 15 de aer de combustie și a preîncălzitorului regenerativ 16 de gaze combustibile GC amplasate în canalul 17 de gaze arse GA al focarului 4.

Compresorul 18 de aer atmosferic A este cuplat prin ventilele de comandă 19 și 20 la intrările în separatoarele de azot 21 și 22 conectate în schemă paralelă prin ventilele de comandă 23 și 24 la intrarea în preîncălzitorul de aer de combustie 15. Prin ventilele paralele de comandă 25 și 26 la ieșirile din separatoarele de azot 21 și 22 sunt cuplate compresorul de azot 27 acționat de electromotorul 28, ventilele de comandă 29 și 30 și rezervorul de azot 31.

În separatoarele 21 și 22 sunt amplasate straturile 32 și 33 de granule capilar-poroase de adsorbant al azotului, spre exemplu din zeoliți (aluminosilicați $(\text{SiO}_2)_x (\text{Al}_2\text{O}_3)_y (\text{H}_2\text{O})_z \text{Me} \frac{n+}{2y}$), pseudozeoliți $(\text{P}_2\text{O}_5)_x (\text{Al}_2\text{O}_3)_y (\text{H}_2\text{O})_z$

$\text{Me} \frac{n+}{2y}$, argile cationice (bentonit, beidellit, mică) și anionice (hidrotalciti), în care Me^{n+} este ionul de metal cu valența

n , iar z , y , z sunt coeficienți stoichiometrici.

La ieșirile din separatoarele 21 și 22 sunt amplasate analizoarele 34 și 35 de gaze și senzorii de presiune 36 și 37. Separatoarele 21 și 22 sunt dotate cu un sistem automat de dirijare, constituit din blocul de comandă 38 legat funcțional

cu ventilele de comandă 19, 20, 23, 24, 25, 26, 29, 30 (liniile de comandă c, d, e, f, g și i), cu electromotorul 28 al compresorului de azot 27 (linia de comandă h), cu analizoarele de gaze 34, 35 și cu senzorii de presiune 36, 37.

Între preîncălzitorul 15 și camera de admisie a aerului îmbogățit de combustie 7 este cuplată turbina 39 care acționează generatorul electric 40 conectat la sursa de înaltă tensiune 14. Ventilul 41 servește pentru evaluarea azotului depozitat N_2 consumatorilor, presiunea acestuia în rezervorul 31, este controlată de senzorul de presiune 42.

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

Aerul atmosferic A este comprimat de compresorul 18 în unul din separatoarele 21 și 22. Pentru aceasta blocul de comandă 38 este programat astfel, ca ventilele de comandă 19, 23 și 26 să fie deschise, iar ventilele 20, 24 și 25 să fie închise sau invers. Trecând prin stratul 32 sau 33 de granule poroase de adsorbant la presiune înaltă, azotul din aerul comprimat este adsorbit, iar oxigenul trece prin strat și este vehiculat prin ventilul de comandă deschis 23 (sau 24) în preîncălzitorul regenerativ 15, unde preia căldura cedată de gazele arse GA în canalul 17. Paralel, în același mod, în preîncălzitorul 16 se încălzesc până la temperatura de aprindere gazele combustibile GC.

Aerul îmbogățit cu oxigen și încălzit la presiune înaltă în preîncălzitorul 15 se destinde în turbina 39, punând în funcțiune generatorul electric 40. Generatorul produce energie electrică proporțional cu debitul de aer îmbogățit, adică cu putere termică a arzătorului 1, livrând-o sursei de înaltă tensiune 14, care o transformă în curent continuu la diferențe de potențiale și polaritățile necesare funcționării sistemelor de electrozi 5 și 6, 3, 10 și 11 și 11, 12 și 13.

Din turbina 39 aerul îmbogățit destins este admis în camera 7 a arzătorului 1 unde sub acțiunea diferenței de potențial de înaltă tensiune are loc descărcarea corona unipolară. În urma descărcării moleculele de oxigen din aerul îmbogățit se ionizează cu polaritate negativă (polaritatea electrozului 10, în vecinătatea căruia are loc descărcarea corona). Datorită temperaturii înalte ale ambelor gaze energia de ionizare a lor este mai scăzută decât la temperaturi obișnuite. Ionii negativi de oxigen se întâlnesc în camera de amestecare 2 cu ionii pozitivi de gaze combustibile unde sub acțiunea forțelor de atracție a sarcinilor electrice proprii și forțelor de respingere coulombice generate de câmpul electrozilor 5 și 6 se mișcă în întâmpinare, formând un amestec intim omogen de oxidant și gaze combustibile. Vântul ionic antrenează în mișcare și moleculele neutre ale gazelor respective. Aglomerarea electrică a ionilor pozitivi și negativi este însoțită de microdescărcări electrice care inițiază aprinderea amestecului și menține în regim stabil arderea lui. Datorită concentrației mari de oxigen și conținutului mic de azot în aerul de combustie îmbogățit, formarea noxelor în focarul 1 este redusă la minim. Totodată se reduce volumul gazelor arse din contul separării azotului, ceea ce conduce la micșorarea pierderilor de căldură cu gazele GA evacuate la coș. O parte din căldura gazelor arse GA este preluată în canalul de fum 17 de preîncălzitoarele regenerative 15 și 16. Cealaltă parte este cedată schimburilor convective de căldură.

Concentrația oxigenului în aerul de combustie îmbogățit de ieșirea din separatorul de azot 21 (sau 22) este controlată de analizorul de gaze 34 (sau 35), iar presiunea aerului îmbogățit de către senzorul de presiune 36 (sau și 37). La scăderea concentrației oxigenului sub valoarea prestabilită în blocul de comandă 38, aceasta în același timp închide ventilele de comandă 19, 23 și 26 și deschide ventilele de comandă 20, 24, 25, 29 și 30. După echilibrarea presiunii azotului în separatorul 21 și rezervorul 31, care este controlată de senzorii de presiune 36 (sau 37) și 42 și este atinsă la valoarea nulă a semnalului diferențial de la acești senzori, blocul de comandă 38 include ventilul de comandă 29 și pune în funcțiune electromotorul 28 al compresorului de azot 27. Ca rezultat azotul acumulat în stratul de adsorbant 32 (sau 33) este vehiculat în rezervorul 31 datorită faptului că în linia de aspirație a compresorului 27 presiunea scade sub cea atmosferică și are loc eliminarea azotului acumulat la presiune înaltă în porii adsorbantului. Când presiunea de aspirație a azotului, controlată de senzorul 36 (sau 37) scade sub valoarea prestabilită în blocul de comandă, acesta închide ventilul de comandă 30 și deconectează de la sursa de tensiune electromotorul 28 al compresorului 27. Senzorul de presiune 42 are și rolul de a controla valoarea maxim admisă a azotului în rezervorul 42. La atingerea acestei valori blocul de comandă trimite un semnal de avertizare acustic sau vizual. În această situație rezervorul se descarcă în recipientele consumatorilor prin deschiderea ventilului 41.

În continuare acest ciclu de funcționare a separatoarelor și rezervorului de azot se repetă în mod automat.

Exemplu. Procedul de ardere propus a fost testat în condiții de laborator. Pentru aceasta s-a folosit un singur separator de azot cu granule poroase din bentonit. Presiunea de adsorbție s-a menținut la nivelul de 2 MPa. Concentrația de oxigen în aerul îmbogățit a crescut la începutul procesului de adsorbție până la 95% vol., apoi, pe măsura saturației bentonitului cu azot, a început să scadă. Perioada de funcționare (până la saturație) a fost de 25 min. La scăderea presiunii până la presiunea atmosferică, adsorbantul a eliberat azotul acumulat volumul acestuia fiind de circa 700-800 vol. din stratul de bentonit.

Ionizarea aerului îmbogățit s-a efectuat în câmp de descărcare corona cu polaritatea electrozului de descărcare negativă la diferențe de potențial dintre electrozi de 7.0 kV. În calitate de gaze combustibile s-a folosit gazul metan care s-a ionizat într-un câmp de descărcare corona cu polaritate pozitivă la diferențe de potențial dintre electrozi de 8.5 kV. Aglomerarea electrică a ionilor a fost realizată într-un câmp electric staționar cu intensitate de 10...20 kV/cm.

Analiza gazelor arse a arătat că conținutul de noxe și gaze combustibile narse este practic nul.