ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990
Seria: ENERGETYKA z. 113 Nr kol. 1101

Andrzej KAPITANIAK

Instytut Techniki Cieplnej w Łodzi

OGRANICZENIE EMISJI NOx PRZEZ ZASTOSOWANIE NOWEJ GENERACJI PALNIKÓW OLEJOWYCH I GAZOWYCH W WYTWORNICACH PARY

Streszczenie. Na tle ogólnych warunków tworzenia się tlenków azotu omówiono wymagane zmiany w konstrukcji palników olejowych i gazowych prowadzące do ograniczenia emisji NOx. Przedstawiono szereg wyników uzyskanych przy spalaniu olejów napędowych i opałowych oraz gazu ziemnego, dotyczących zawartości NOx /mg/m^3 przy O_2 = 3%/. Porównanie przeprowadzono dla palników o budowie konwencjonalnej zainstalowanych w kraju i palników specjalnych /firmy Babcock/ przy obiektach siłowni zagranicznych.

1. WSTĘP

Wśród prowadzonych w ostatnich latach działań zmierzających do poprawy stanu środowiska naturalnego znalazła się w centrum zainteresowania również tematyka związana z wydzielaniem szkodliwych związków azotu. Problem emisji tlenków azotu występuje nie tylko w wytwornicach pary opalanych paliwami stałymi, np. w postaci pyłu węglowego lub spalanych na rusztach, ale także w odniesieniu do palenisk olejowych i gazowych.

Wydaje się więc interesujące przedstawienie wyników charakteryzujących poziom koncentracji tlenków azotu w spalinach wylotowych z urządzeń kotłowych spalających oleje opałowe i gazy. W niniejszym opracowaniu na tle warunków tworzenia się i możliwości redukcji tlenków azotu przedstawiono wyniki zawartości NOx[1/] według pomiarów ITC uzyskiwane przy krajowych kotłach olejowych oraz dane pomiarowe dotyczące kilku olejowo-gazowych kotłów instalowanych w nowoczesnych siłowniach zagranicznych. Porównanie przeprowadzono dla instalacji paleniskowych wyposażonych w palniki konwencjonalne /kotły krajowe/ i specjalnie przystosowanych do redukcji tlenków azotu /obiekty zagraniczne/. W obu przypadkach palniki były dostarczane przez firmę Babcock /Leobersdorfer Maschinenfabrik Austria/.

[1/] Omawiany problem dotyczy średnich z chwilowych pomiarów NOx z danego emitora w określonych przedziałach czasowych. Należy odróżnić takie wartości od często podawanych 30-minutowych stężeń NOx i wartości maksymalnego skażenia atmosfery.

2. WARUNKI TWORZENIA SIĘ TLENKÓW AZOTU I MOŻLIWOŚCI ICH REDUKCJI

W procesie spalania w zależności od wywołanych warunków jego przebiegu powstają różne tlenki azotu NO, NO_2, N_2O i wyższe oznaczane łącznie umownie jako NOx. Tlenki te tworzą się z azotu cząsteczkowego dostarczanego z powietrzem do spalania oraz z azotu zawartego w paliwie i ewentualnie wprowadzonego z dodatkami chemicznymi.

Powszechnie przyjmowany jest uproszczony podział kwalifikacyjny warunków wytwarzania się tlenków azotu w procesie spalania, [1]:

1/ Termiczne tworzenie się NOx z azotu zawartego w powietrzu. Proces przebiega w temperaturze powyżej 1570 K i zależy od koncentracji tlenu atomowego i czasu reakcji;

2/ Powstawanie tzw. szybkiego NOx /promt NOx/ jest zjawiskiem towarzyszącym termicznemu tworzeniu się NOx i odbywa się w rejonie przy konturach płomienia. Utlenianie jest wynikiem reakcji pomiędzy cząsteczkowym N_2 a rodnikami kwasu węglowego. Kinetyka procesu zależy od stosunków stechiometrycznych i poziomu temperatury;

3/ Tworzenie się NOx w wyniku reakcji pomiędzy azotem z paliwa a tlenem z powietrza przebiegających już od temperatury 1070 K;

4/ Podczas reakcji spalania może wytwarzać się także podtlenek azotu N_2O /w różnej proporcji do NOx/ [1],który w emisji poza kominem przyczynia się do powstawania zjawiska tzw. dziury ozonowej;

5/ Transformacja NO do NO_2 występująca w środowisku atmosfery poza emitorem wywołana oddziaływaniem promieni słonecznych.

Metody eliminacji lub ograniczenia tworzenia się szkodliwych tlenków azotu dzielą się na przedsięwzięcia pierwotne ukierunkowane na zmniejszenie ilości NOx w źródle ich powstawania oraz wtórne związane z odpowiednią obróbką spalin już poza paleniskiem.

Wśród parametrów, związanych z pierwotnymi metodami ograniczenia tworzenia się NOx, należy uwzględnić:

a/ Temperaturę płomienia /spalania/ - proces powstawania NOx daje się wydatnie ograniczyć przez obniżenie temperatury spalania, np. palenisko fluidalne;

b/ Temperaturę powietrza doprowadzanego do paleniska - przy niższej nastąpi oczywisty spadek temperatury spalania i ograniczenie NOx. W praktyce jednak właściwości większości paliw oraz względy wymiany ciepła,szczególnie w istniejących obiektach,ograniczają możliwość zmian podgrzewu powietrza;

c/ Recyrkulację spalin wpływającą na obniżenie temperatury płomienia i zmianę składu gazów w przestrzeni spalania,

d/ Poziom tlenu w środowisku spalania ujęty, np. współczynnikiem nadmiaru powietrza. W miarę zbliżania się do warunku $\lambda \rightarrow 1,0$ maleje znacząco ilość tworzącego się NOx,ale ograniczeniem dla obniżenia zawartości O_2 jest dopuszczalny udział w spalinach CO i ozerń spalin;

e/ Na intensywność powstawania NOx wpływa sposób tworzenia się mieszaniny palnej w aspekcie kolejności zjawisk pośrednich, parametru czasu i sposobu odbioru ciepła od płomienia. Technicznie może to być zrealizowane przez spalanie strefowe. Przez odpowiednie wymieszanie można zmniejszyć tu udział wolnego tlenu w płomieniu, co wywoła, że przy niższym ciśnieniu cząsteczkowych O_2 ograniczy się czas reakcji tworzenia NOx. Wymaganą resztę ilości tlenu doprowadza się w pewnym oddaleniu od pierwotnego płomienia;

f/ Obciążenie cieplne komory paleniskowej - przy jej obniżeniu, np. podczas pracy z wydajnością poniżej nominalnej, następują zmiany temperaturowe sprzyjające redukcji ilości NOx.

3. PRZESŁANKI KONSTRUKCJI PALNIKÓW OLEJOWYCH I OLEJOWO-GAZOWYCH PRZYSTOSOWANYCH DO OGRANICZENIA WYDZIELANIA NOx

Jak wiadomo, na jakość spalania, w aspekcie optymalnego wykorzystania ciepła z paliwa w palenisku kotłowym, stabilności płomienia, wypalenia części palnych i czasu spalania, w dużej mierze wpływa właściwe wymieszanie paliwa z powietrzem. Prowadzi to, uwzględniając wysokie temperatury płomienia, do intensywnego odbioru ciepła głównie w powierzchniach opromieniowanych i utrzymywania niskiego nadmiaru powietrza, czyli w konsekwencji zmniejszonych strat wylotowych i niecałkowitego spalania. Optymalne dużej i średniej mocy palniki do paliw ciekłych i gazowych, spełniające powyższe warunki, zazwyczaj charakteryzowały się:

1/ Układem wylotowym w kształcie dyszy Venturi lub cylindrycznym z centrycznie ustawionym stabilizatorem skrzydełkowym lub perforowanym.

2/ Odpowiednio dobraną średnicą otworu wylotowego /jako funkcję mocy cieplnej palnika/ zapewniającą korzystne dla procesu mieszania prędkości wypływu powietrza.

3/ Brakiem rozdziału powietrza w układach wylotowych, np. w kształcie dyszy Venturi lub podziałem na powietrze pierwotne i wtórne w cylindrycznych wylotach. Powietrze wtórne na ogół ulega zawirowaniu w specjalnych układach wieńców łopatkowych.

4/ Stosowaniem rozpylaczy hydrogazodynamicznych /np. typu Y/ lub rzadziej hydrodynamicznych /np. z regulacją upustową/ oraz usytuowanymi obwodowo w układzie wylotowym wydłużonymi lancami z końcówkami do wypływu gazu.

Porównując przesłanki konstrukcyjne konwencjonalnych palników z omówionymi uprzednio uwarunkowaniami redukcji NOx widać, że względy ochrony środowiska wymagają pewnego kompromisu między optymalną techniką spalania i jej ekonomią a warunkami sprzyjającymi wydatnej redukcji NOx.

Aktualne konstrukcje palników olejowych i olejowo-gazowych przystosowane do mniejszej ilości NOx oparte są na przyjęciu rozdziału powietrza już w obrębie obudowy i zastosowaniu spalania strefowego. W pierwszej strefie o zmniejszonym udziale powietrza pierwotnego tworzy się jądro płomienia

bogate jeszcze w niespalone paliwo. W dalszych fazach spalania następuje dodatkowy dopływ powietrza i dopalanie poza obrębem pierwotnego płomienia w strefie zewnętrznej. Celem zapewnienia rozdziału strumienia poza wylotem z palnika stosuje się często wewnętrzną recyrkulację spalin tworzących warstwę rozgraniczającą pomiędzy strumieniami powietrza. Dla intensyfikacji redukcji NOx stosowane bywają też układy z dodatkowym wypływem powietrza trzeciego w strefę powyżej wylotu palnika, np. przy poziomym usytuowaniu palników w ścianach komory paleniskowej lub niezależne od palnika wprowadzanie peryferyjne powietrza górnego poza konturem płomienia, np. przy usytuowaniu palników w spodzie komory paleniskowej.

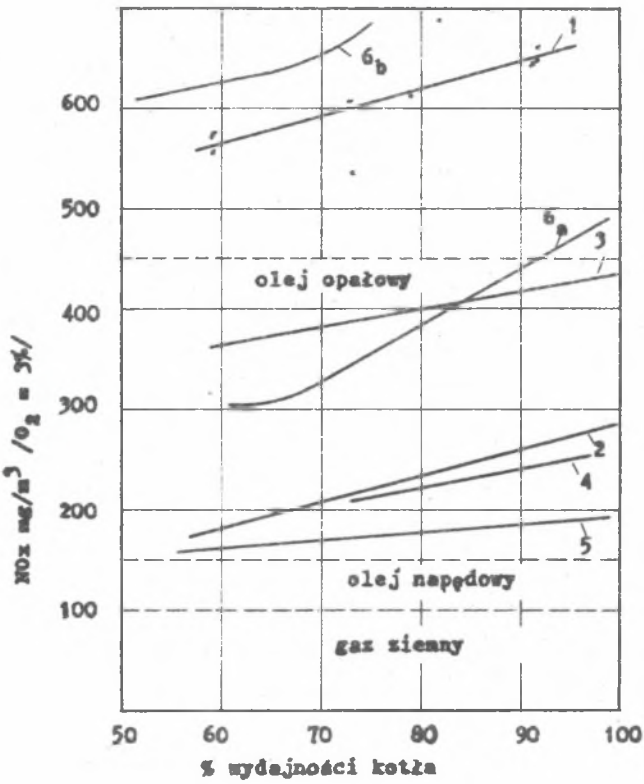
4. WYNIKI POMIARU EMISJI CHWILOWEJ NOx

Porównanie przedstawione na rys.1 ujmujące wyniki NOx mg/m^3 /odniesione do zawartości O_2 = 3% w spalinach suchych/ w funkcji zmian wydajności masowej kotła dotyczy następujących obiektów:

1/ Pracujących w kraju 3 kotłów OO-420 /D = 420 mg/h/ wyposażonych w usytuowane w trzech rzędach przy czterech ścianach 12 konwencjonalnych palników firmy Babcock. Palniki te o wydajności 2700 kg/h /0,75 kg/s/ i układzie wylotowym typu Venturi przy temperaturze powietrza 523 K umożliwiają utrzymanie procesu spalania przy λ = 1,06 /przed obrotowymi podgrzewaczami powietrza/ i czerni spalin poniżej 3. Kotły opalane są gudronem o następujących średnich własnościach: Q_w^r = 39,7 MJ/kg, S = 2,84%, zawartość popiołu 0,03% mas., w tym asfaltenów 3,8% mas., V = 165 mg/kg, Na = 15 mg/kg. Uśrednione wartości NOx uzyskane wg chwilowych pomiarów w komputerowym analizatorze spalin MSJ-2000 firmy Dräger przedstawia krzywa 1 /rys.1/.

2/ Palników olejowych ASR firmy Babcock /rys.2/ z podziałem na powietrze pierwotne i wtórne przedzielone strumieniem recyrkulacji spalin z paleniska. Krzywa 2 /rys.1/ dotyczy wyników przy spalaniu gazu ziemnego w kotle o wydajności 85 mg/h, a krzywa 3 /rys.1/ dotyczy w tym kotle wyników przy spalaniu oleju napędowego /S = 1,2%/. Istnieje możliwość przez modyfikację palnika doprowadzania jako wtórne zimnego powietrza z osobnej instalacji. Wyniki dla takiego wariantu przy spalaniu gazu ziemnego przedstawia krzywa 4 /rys.1/ dla kotła o wydajności 150 mg/h.

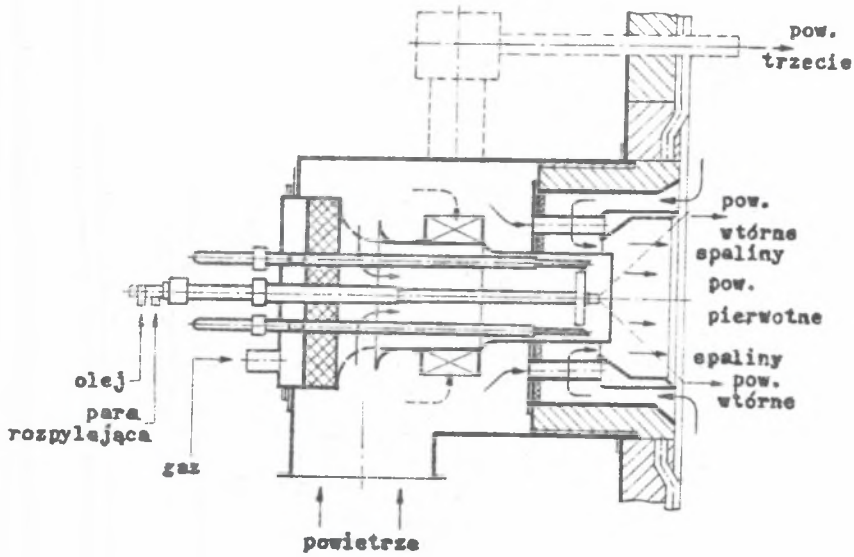
3/ Palników olejowo-gazowych ASR-T firmy Babcock różniących się od wersji ASR dodatkowym wypływem powietrza trzeciego, jak to przedstawiono linią przerywaną na rys.2. Krzywa 5 /rys.1/ dotyczy wyników spalania gazu ziemnego w kotle o wydajności 300 mg/h wyposażonym w 6 takich palników umieszczonych w trzech rzędach przy ścianie czołowej komory paleniskowej.



Rys. 1. Średnie z chwilowych wartości NOx w funkcji zmian wydajności kotła w zależności od konstrukcji palników olejowo-gazowych. /oznaczenia 1 ÷ 6 w tekście/
— — — wymagane wartości graniczne

Fig. 1. Mean instantaneous NOx - emission as a function of boiler rating dependent on design of oil-gas burners /designation numbers 1 to 6 in writing text/
— — — Standard limit value

4/ Konwencjonalnych palników olejowo-gazowych AS firmy Babcock z osiowym wypływem powietrza pierwotnego i wtórnego /bez zawirowania/, które współpracują z odległe usytuowanym zespołem dysz powietrza górnego. Krzywa 6a /rys. 1/ dotyczy uzyskiwanych NOx przy spalaniu oleju opałowego /S = 2,5%/ w kotle o wydajności 1250 mg/h z palnikami w stropie dolnym komory paleniskowej /14 palników i 14 dysz powietrza górnego umieszczonych przy ścianach bocznych na poziomie 3/4 wysokości komory paleniskowej). Krzywa 6b /rys. 1/ określa natomiast emisję NOx z tych palników bez zastosowania dysz powietrza górnego. Poziom emisji NOx



Rys.2. Palnik olejowo-gazowy ASR przystosowany do ograniczonego tworzenia się NOx
/fragment oznaczony liniami przerywanymi dotyczy wersji ASR-T z powietrzem trzecim/

Fig.2. Oil-gas burner ASR fitted for low NOx forming
/break line elements belong to ASR-T-type burner with overfire air/

z olejowych palników konwencjonalnych /krzywa 1 i 6b, rys.1/ kształtuje się w przedziale 530 ÷ 680 mg/m^3.

5. UWAGI KOŃCOWE

1. Obecnie zaostrzone normy ochrony środowiska, np. w RFN, ustalają emisję NOx na poziomie niższym niż występujący w eksploatacji kotłów olejowo-gazowych. Dla palenisk olejowych i gazowych wartości te wynoszą odpowiednio: 450 mg/m^3 dla oleju opałowego, 150 mg/m^3 dla oleju lekkiego i 100 mg/m^3 dla gazu /O_2 = 3%/.
2. Uzyskane wyniki emisji NOx z kotłów wyposażonych w konwencjonalne palniki olejowe /krzywa 1 i 6b rys.1/ przewyższają znacznie wartości dopuszczalne. Zastosowanie natomiast specjalnych palników nowej generacji pozwala eksploatować kotły przy występowaniu emisji NOx poniżej 480 mg/m^3 przy oleju i poniżej 280 mg/m^3 przy gazie ziemnym z tendencją spadkową przy obniżeniu wydajności kotłów.

3. Możliwość prawidłowego działania opisanych palników nowej generacji wymaga ścisłej kontroli przebiegu spalania w powiązaniu z impulsami regulującymi przepływ i rozdział powietrza oraz spalin recyrkulacyjnych. Wiąże się to oczywiście z nowoczesnym wyposażeniem pomiarowym zintegrowanym komputerowo. Tak więc w tych przypadkach problemy regulacyjno-kontrolne są co najmniej równorzędne aerodynamice przepływów i spalania.
4. W praktyce pewną alternatywą może być zachowanie istniejących dobrych konwencjonalnych palników i zastosowanie w strefie dopalania dysz powietrza górnego /krzywa 6a, rys.1/.
5. Dla obniżenia poziomu NOx do wartości ok. 100 mg/m^3 /O_2 = 3%/ przy spalaniu gazu ziemnego muszą być zastosowane jednakże przedsięwzięcia kombinowane, np. układy opisanych palników z doprowadzeniem zimnego powietrza trzeciego lub ochłodzonych spalin oraz także dodatkowego powietrza górnego poza obudową palników. Bywa to głównie realizowane przy komorach paleniskowych z palnikami w stropie dolnym. Te przedsięwzięcia obniżają także emisję NOx przy spalaniu olejów.

LITERATURA

[1] Kapitaniak A.: Metody przedsięwzięć pierwotnych ograniczenia emisji tlenków azotu podczas pracy wytwornic pary. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, seria: Cieplne Maszyny Przepływowe, z.100, 1990.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Ludwik CWYNAR

ОГРАНИЧЕНИЕ ЭМИССИИ NO_x ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВЫХ И МАЗУТНЫХ ГОРЕЛОК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ

Р е з ю м е

На фоне общих условий возникания окислов азота рассмотрено требования к конструкции мазутных и газовых горелок ведущие к ограничению эмиссии NO_x.
Представлен ряд результатов по кратковременному содержанию NO_x ($^{mg}/m^3$ при O_2=3%), полученных при сжигании дизельного топлива и мазута, а также природного газа.
Проведено сравнения для типовых горелок, смонтированных в стране и для специальных горелок (фирмы Babcock), работающих в зарубежных силовых установках.

REDUCING OF THE NO_x EMISSION AS A RESULT OF USE ADVANCED OIL-GAS BURNERS IN STEAM GENERATORS

S u m m a r y

Against a background of nitric oxides formation, the requirements for oil-gas burners design which are irremissible for reduction of NO_x have been analised. Some results of instantaneous NO_x emission /in mg/m^3 according to O_2 = 3% / during domestic or haevy oil and natural gas burning have been presented. The comparrison is given for classical burners worked in polish boilers and advanced burners /Babcock design/ operated in foreign power plants.