



Badanie wspólnego spalania paliwa gazowego i mazutu

Aleksander Szkarowski^{,**}*

Sylwia Janta-Lipińska^{}, Tomasz Dąbrowski^{*}*

^{}Politechnika Koszalińska*

*^{**}St. Petersburg Polytechnic University*

1. Wstęp

Rzadko stosowane wspólne spalanie paliwa gazowego i mazutu w rzeczywistości ma kilka atutów. Po pierwsze dodanie paliwa ciekłego powoduje zwiększenie współczynnika emisyjności (czarności) w objętości paleniska, co fachowcy określają terminem „podświetlenia” płomienia. Wymiana ciepła w kotle w większym stopniu odbywa się wówczas przez powierzchnie ekranowe paleniska przyczyniając się tym samym do zwiększenia sprawności kotła. Po drugie gazowa część płomienia nie pozwala osadzać się i koksować resztkom mazutu na powierzchniach kotła, co jest problemem przy spalaniu samego mazutu.

2. Charakterystyka obiektu badań

Ósma Rejonowa Kotłownia Wyborskiego Rejonu Sankt-Petersburga zlokalizowana jest w wolnostojącym budynku. W kotłowni znajdują się trzy kotły parowe typu DKVR 10-13. Są to kotły dwuwalczkowe, pionowe z podłużnym usytuowaniem walczków. Wydajność nominalna kotła wynosi 10 t/h (z możliwością wydłużonej pracy z obciążeniem do 140%). Maksymalne nadciśnienie pary w walczaku kotła wynosi 1,3 MPa. Każdy kocioł wyposażony jest w 2 palniki gazowo-maztowe typu GMG-5,5. Jest to niezwykle sposób wyposażenia takich kotłów (z reguły stosowane są dwa palniki GMG-4). Palniki przeznaczo-

ne są do spalaniu gazu ziemnego o niskim ciśnieniu i mazutu z parowo-mechanicznym sposobem rozpryskiwania. Indywidualna instalacja wentylatorowo-wyciągowa każdego kotła składa się z wentylatora nadmuchowego VD-8 oraz wentylatora wyciągowego D-10.

Każdy kocioł typu DKVR 10-13 wyposażony jest w indywidualny sieciowy (działający bezpośrednio na sieć ciepłą) ekonomizer VTI o powierzchni 124 m² nieodłączny po linii spalin. Odprowadzanie spalin do atmosfery odbywa się poprzez ceglany komin o średnicy 1150 mm i wysokości 45 m.

3. Cel i metody badawcze

Celem niniejszego opracowania było obniżenie emisji toksycznych tlenków azotu do atmosfery z kotłów DKVR-10-13 przy wspólnym spalaniu gazu i mazutu, a także przy samodzielnym spalaniu gazu ziemnego (Szkarowski i in. 2016). Wstępnie zakładano obniżenie tej emisji o 30% przy spalaniu paliwa gazowego oraz o 20% przy wspólnym spalaniu paliwa gazowego i mazutu. Do określenia składu produktów spalania i pomiaru ich temperatury użyto nowoczesnego analizatora spalin typu Optima 7 niemieckiej firmy MRU GmbH, w który to doposażone zostało stanowisko badawcze. Wyniki uzyskanych pomiarów odnoszono do normy PN-EN: 50379-1. Z racji obszerności uzyskanych wyników w niniejszym artykule przedstawione zostały rezultaty badań dla kotła nr 2 jako typowe dla wyposażenia kotłowni. Właśnie na tym kotle zostały opracowane technologiczne i konstrukcyjne elementy technologii autor-skiej, którą to po odpowiednim dostosowaniu wykorzystano na pozostałych kotłach.

4. Badania teoretyczne

4.1. Analiza metod obniżenia emisji tlenków azotu w spalinach kotłów

Rozmaitość metod rozwiązywania zagadnienia energo-ekologicznej optymalizacji spalania paliwa wynika z ogromnej różnorodności urządzeń paleniskowych i palnikowych i nie została do teraz sklasyfikowana w jednolity sposób (Szkarowski, Janta-Lipińska, 2013). W związku z ważnością tej kwestii ze względu na zdefiniowane zagadnienie zespół Autorów proponuje klasyfikację kierunków energo-

ekologicznej modernizacji, w której to wyróżnić można cztery główne kierunki:

- optymalizację samego procesu spalania paliwa ukierunkowaną na zmniejszenie powstawania szkodliwych substancji w trakcie procesu spalania paliwa,
- oczyszczanie paliwa z substancji, które mogą doprowadzić do powstawania składników szkodliwych w trakcie procesu spalania,
- oczyszczanie gazów spalinowych z substancji szkodliwych,
- zorganizowane rozpraszanie powstających w wyniku procesu spalania szkodliwych substancji do atmosfery.

Ostatnia z powyższych metod uznana została przez Autorów za błędną, gdyż nie zmniejsza ona stopnia zanieczyszczenia środowiska a jedynie przenosi substancje szkodliwe na sąsiednie terytoria.

W celu porównania metod obniżenia emisji NO_x , konieczne jest określenie kryteriów ich skuteczności w stosunku do niewielkich kotłowni wyposażonych w kotły o małej i średniej mocy (Szkarsowski 2003, Szyszlak-Bargłowicz i in. 2017). Stosowanie proponowanych metod w kotłach energetycznych dużej mocy jest często nie do zaakceptowania z technologicznego i ekonomicznego punktu widzenia (Кузнецова и др. 1973).

W tabeli 1 przytoczono wyniki analizy w zakresie skuteczności stosowania poszczególnych metod zmniejszenia emisji tlenków azotu do atmosfery (Szkarsowski i in. 2016, Jemieljanow 1992). W tym celu przeanalizowano dane z publikacji naukowych i dostępnych sprawozdań z wdrożenia rozwiązań w rozpatrywanym zakresie (Szkarsowski, Janta-Lipińska 2015). W tabeli pominięto sposoby, których użycie uznano po wcześniejszej analizie za niemożliwe lub nieefektywne. Zawarte w poniższej tabeli dane stale ulegają zmianie ze względu na ciągłe ulepszanie technologii produkcji kotłów oraz pojawianie się nowych metod redukcji emisji substancji szkodliwych. Ponadto stosowanie dwóch lub więcej metod obniżenia emisji jednocześnie pozwala zwiększyć ich skuteczność (Szkarsowski, Janta-Lipińska 2009). Na przykład spalanie emulsji wodno-mazutowej samo w sobie jest złożoną metodą obniżenia emisji NO_x (Pavlenko i in. 2014), ponieważ z jednej strony zwiększa sprawność zespołu kotłowego, a z drugiej hamuje proces powstawania NO_x , intensyfikując

tym samym proces wymiany ciepła w piecu oraz zmniejszając zawartość azotu w paliwie (Roslakow 1986).

Tabela 1. Zestawienie efektywności metod obniżenia emisji tlenków azotu do atmosfery przy wspólnym spalaniu gazu i mazutu

Table 1. Comparison of the effectiveness of methods of reducing the emission of nitrogen oxides to the atmosphere in the co-combustion of gas and fuel oil

Charakterystyka metody	Obniżenie emisji, %		Zwiększenie kosztów produkcji ciepła
	NO _x	Sadza, CO	
1. Zwiększenie sprawności kotła (o 1%)	1,1	ponad 1,3	ekonomia
2. Automatyzacja regulacji	11-14	ponad 10	-
3. Optymalizacja stosunku „paliwo-powietrze”	20 (gaz)	3-5 razy	-
4. Dwustopniowe doprowadzenie powietrza (tylko dla gazu)	20-25	-	-
5. Optymalizacja pracy kotła	10-15	1,5-2,0 razy	-
6. Jakościowe i czasowe nastawianie kotła	10-15	20-25 i więcej	-
7. Recyrkulacja spalin (na 1% recyrkulanta)	0,3-1,0 (gaz) 0,3-1,5 (mazut)	możliwe zwiększenie emisji	10-30
8. Modernizacja palników	20-25	20-30	-
9. Stosowanie dodatków do mazutu	15-20	1,5-2,0 razy	10-15
10. Obniżenie zawartości NO _x w paliwie mazutowym	20-60	-	25-50
11. Oczyszczenie spalin od zawartości w nich NO _x	50-80	-	30-60
12. Przystawienie kotłów z mazutu na paliwo gazowe	20-25	5-10 razy	ekonomia
13. Stosowanie mieszaniny mazutu z olejem opałowym	20-25	5-7 razy	-
14. Spalanie emulsji wodno-mazutowej	do 30	50 i więcej	-
15. Wtrysk wilgoci (na 1% od masy powietrza)	30-50	15-25	możliwe do 10
16. Rozproszenie przy pomocy wysokich kominów	zmniejsza stężenie w strefie przyziemnej nie obniżając emisji		zależy od wysokości kominia

Na podstawie wstępnych badań uznano, że:

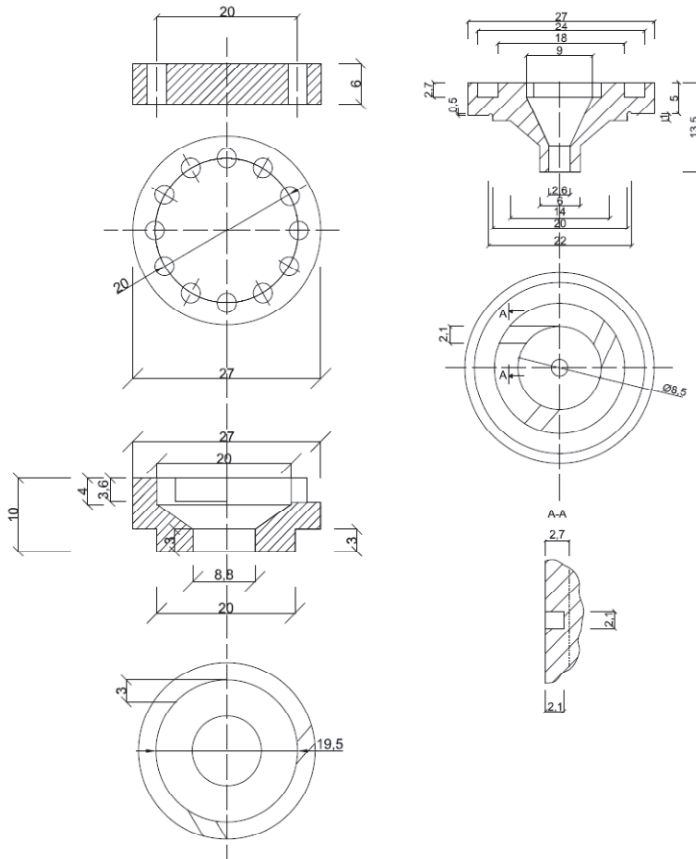
1. Jako efektywne środki zmniejszenia emisji tlenków azotu do atmosfery należy wykorzystywać metody kombinowane, w pierwszej kolejności, metody nie obniżające sprawności czy zupełności spalania paliwa.
2. W każdym przypadku należy przeprowadzić inwentaryzację i analizę pracy kotłów w celu ich ewentualnej optymalizacji (zmniejszenie zasysania powietrza, optymalizacje trybów pracy itp.)
3. Wstępna analiza teoretyczna jak również własne doświadczenie zespołu badawczego pozwala polecić dla kotłów DKVR-10-13 pracujących w trybie przemysłowo-grzewczym metodę wtryskiwania pary do strefy spalania w ilości 1-1,5% strumienia doprowadzanego powietrza. Oczekiwany efekt – co najmniej 30% zmniejszenie emisji NO_x przy spalaniu paliwa gazowego oraz 20% zmniejszenie emisji przy wspólnym spalaniu paliwa gazowego i mazutu.

5. Badania doświadczalne

5.1. Opracowanie systemu zmniejszenia emisji NO_x

Wstępna analiza metod zmniejszenia emisji tlenków azotu i doświadczenia autorów wykazały istotne zalety metody wtrysku wilgoci do strefy spalania. Przy spalaniu gazu do wtryskiwania wilgoci mogą być wykorzystywane obydwie kanały (parowy i mazutowy) rozpryskiwaczy mazutu. Ta autorska metoda wielokrotnie została już wdrożona i wymagała tylko określenia optymalnych charakterystyk parametrów jej zastosowania (Szkarsowski 2001, Szkarsowski 2002).

Jednak przy wspólnym spalaniu paliwa wtryskiwacz mazutu wykonuje swoją podstawową funkcję. Para w takim przypadku doprowadzana może być wyłącznie przez kanał parowy wtryskiwacza. Dlatego w celu wtrysku dodatkowej wilgoci powyżej tej ilości pary, która jest potrzebna do rozpryskiwania mazutu należało odpowiednio zmodyfikować zawirowywacze głowicy rozpryskującej. Opracowane zawirowywacze przedstawiono na rysunku 1. Ważne znaczenie miały nie tylko charakterystyki konstrukcyjne, ale również sposób wykończenia krawędzi kanałów i otworów.



Rys. 1. Strona lewa – zmodyfikowany zawirowywacz parowy, prawa strona – zmodyfikowany zawirowywacz mazutowy

Fig. 1. Left side – modified steam turbulator, right side – modified mazout turbulator

Zmniejszenie średnicy dyszy mazutowej pozwala także poprawić wskaźniki dyspergowania i spalania mazutu przy jego obniżonym ciśnieniu. Uzyskane teoretycznie przesłanki zostały sprecyzowane podczas badań na jednym kotle a następnie wdrożone w całej kotłowni. Zależność ilości wtryskiwanej pary od jej ciśnienia dla zmodyfikowanej głowicy przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zużycie pary dla zmodyfikowanego wtryskiwacza mazutu w zależności od ciśnienia (na 2 wtryskiwacze jednocześnie)

Fig. 2. Steam consumption for a modified mazout injector depending on the pressure (for 2 injectors simultaneously)

5.2. Badania eksperymentalne

Program badań eksperymentalnych przewidywał:

1. Określenie faktycznego poziomu emisji w eksploatacyjnym stanie technicznym kotłów, będącego poziomem odniesienia (Сборник 1986).
2. Możliwość optymalizacji pracy kotłów skierowanej na zmniejszenie emisji NO_x bez zastosowania dodatkowych środków technicznych.
3. Określenie najlepszych konstruktywnych parametrów głowic rozpylających.
4. Ustalenie najkorzystniejszego, pod względem zużycia pary, trybu pracy układu zapewniającego wymagane osiągi.

Zrealizowanie powyższego programu badań pozwoliło na określenie optymalnych, konstruktywnych i reżimowych parametrów systemu zdławienia emisji NO_x zakładając oczekiwany poziom zmniejszenia emisji o 30% przy spalaniu paliwa gazowego oraz 20% przy wspólnym spalaniu paliwa gazowego i mazutu.

W pierwszej kolejności zbadano możliwość optymalizacji trybów pracy kotłów pod względem zmniejszenia emisji tlenków azotu (Szkarowski, Janta-Lipińska 2011). Pozwoliło to obniżyć emisję NO_x o 3-5% od poziomu faktycznego w trybie nominalnym, co odpowiada danym literaturowym. Wspomniana optymalizacja polegała na dokładniejszym ustaleniu ciśnienia powietrza przed palnikiem i podciśnienia w palenisku. Następnie wykonano badania opracowanego systemu zdławienia emisji tlenków azotu (Szkarowski 1997). Doprowadzenie pary w celu balastowania strefy spalania i odpowiednie zmniejszenie intensywności generacji NO_x wykonywano przez wtryskiwacze mazutu palników GMG-5,5. W celu uzyskania optymalnego wyniku (maksymalnego zmniejszenia emisji NO_x przy minimalnym zużyciu pary i odpowiednio minimalnym wpływie na sprawność kotła) zmieniano:

- typ i wymiary głowic rozpylających,
- kształt chmury parowej,
- miejsce doprowadzania pary do strefy spalania,
- ilość (ciśnienie) pary i stosunek jego strumieni doprowadzanych przez różne elementy głowicy do różnych stref płomienia.

5.3. Wyniki badań

Emisję NO_x podaje się w przeliczeniu na masową emisję tlenków azotu G_{NO_x} [g/s], ponieważ właśnie ten wskaźnik charakteryzuje bezwzględny wpływ emisji szkodliwych składników spalin na zanieczyszczenie atmosfery.

W trakcie analizy wyników badań rozpatrywano trzy poziomy ewentualnego wpływu emisji ze spalinami kotłów na zanieczyszczenia atmosfery (na przykładzie kotła nr 2):

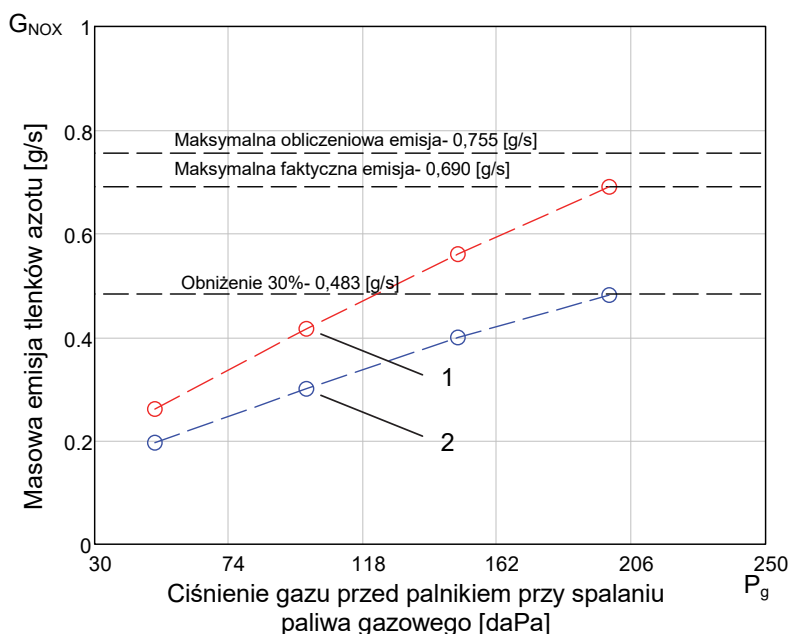
1. Maksymalny obliczeniowy poziom emisji, który dla kotłów DKVR 10-13 wynosi 0,755 g/s.
2. Maksymalny faktyczny poziom określony doświadczalnie, przy maksymalnie osiągniętych w praktyce trybach pracy kotła, wynosi 0,690 g/s.

3. Zmniejszony zgodnie z założeniami poziom emisji:

- przy spalaniu paliwa gazowego obniżony o 30% – 0,483 g/s
- przy wspólnym spalaniu paliwa gazowego i mazutu obniżony o 20% – 0,552 g/s

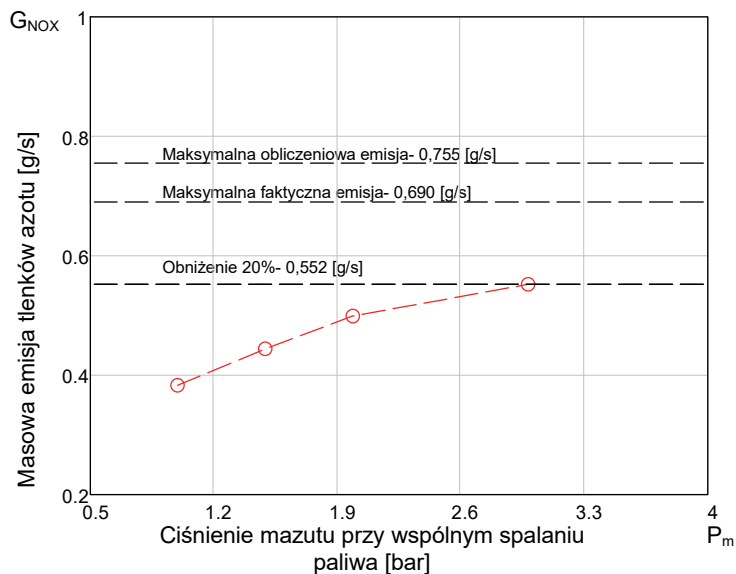
W związku z tym, że maksymalny faktyczny poziom emisji nie przekraczał maksymalnego obliczeniowego za poziom odniesienia przyjęto faktyczną maksymalną emisję tlenków azotu.

Uzyskane w trakcie badań doświadczalnych wyniki przedstawiono na rysunku 3 i 4.



Rys. 3. Masowa emisja NO_x dla kotła DKVR 10-13 przy spalaniu paliwa gazowego: 1 – w stanie eksploatacyjnym; 2 – z włączonym systemem zdławienia emisji tlenków azotu

Fig. 3. Mass emissions of NO_x boiler DKVR 10-13: 1 – in operating condition; 2 – enabled system to stifle emissions of nitrogen oxides



Rys. 4. Masowa emisja NO_x dla kotła DKVR 10-13 przy wspólnym spalaniu paliwa gazowego i mazutu.

Fig. 4. Mass emissions of NO_x for boiler DKVR 10-13 in the co-combustion of gas and fuel oil

Zestawienie głównych opomiarowanych i obliczanych wartości charakteryzujących pracę kotła przy spalaniu paliwa gazowego oraz przy wspólnym spalaniu podano w tabeli 2 i 3.

Tabela 2. Zestawienie wyników badań emisji tlenków azotu dla kotła DKVR 10-13 na paliwie gazowym**Table 2.** Summary of the results of the testing of emissions of nitrogen oxides for fuel gas boiler DKVR 10-13

Wskaźniki	Ciśnienie gazu [daPa]			
	50	100	150	200
1. Wydajność kotła [t/h]	5,33	7,64	9,44	10,90
2. Zużycie gazu [m ³ /h]	430	610	750	865
3. Strumień objętości spalin ($\alpha=1$, $t=20^{\circ}\text{C}$) [m ³ /s]	1,09	1,54	1,90	2,19
4. Stężenie NO _x w spalinach ($\alpha=1$, $t=20^{\circ}\text{C}$) [mg/m ³]:				
a) faktyczna eksploatacyjna	240	270	295	315
b) z włączonym systemem	180	195	210	220
5. Emisja masowa tlenków azotu [g/s]:				
a) maksymalna obliczeniowa	0,755			
b) maksymalna faktyczna	0,690			
c) obniżenie emisji o 30%	0,483			
c) faktyczna eksploatacyjna	0,261	0,416	0,560	0,690
d) z włączonym systemem	0,196	0,300	0,399	0,481
6. Ciśnienie pary przed wtryskiwaczami systemu [bar]	1,0	1,7	2,3	3,0
7. Zużycie pary na wtrysk [kg/h]	45	58	67	77

Tabela 3. Zestawienie wyników badań emisji tlenków azotu dla kotła DKVR 10-13 przy wspólnym spalaniu gazu i mazutu**Table 3.** Summary of the results of the testing of emissions of nitrogen oxides for fuel gas boiler DKVR 10-13

Wskaźniki	Ciśnienie mazutu [bar]			
	1,0	1,5	2,0	3,0
1. Wydajność kotła [t/h]	8,41	9,28	9,96	11,20
2. Ciśnienie gazu [daPa]	30			
3. Zużycie gazu [m ³ /h]	360			
4. Zużycie mazutu [kg/h]	250	305	350	430
5. Strumień objętości spalin ($\alpha=1$, $t=20^{\circ}\text{C}$) [m ³ /s]	1,74	1,93	2,08	2,34
6. Stężenie NO _x w spalinach ($\alpha=1$, $t=20^{\circ}\text{C}$) [mg/m ³]:	220	230	240	250
7. Emisja masowa tlenków azotu [g/s]:				
a) obniżenie emisji o 20%	0,552			
b) faktycznie osiągnięty	0,383	0,444	0,499	0,552

6. Wnioski

1. Określono faktyczne poziomy emisji kotłów, które tylko przy spalaniu gazu zbliżone są do wartości maksymalnych obliczeniowych. Udowodniono, że metoda wspólnego spalania gazu i mazutu, oprócz sezonowego oszczędzania paliwa gazowego, jest również skuteczną metodą zmniejszenia emisji tlenków azotu.

2. Został opracowany, zbadany i wdrożony układ zmniejszenia emisji tlenków azotu dla kotłów DKVR 10-13 metodą wtryskiwania pary z konkretnym typem urządzenia rozpylającego dla kotłów parowych, sposobem jego montażu oraz miejscem i ilością wtryskiwanej pary.
3. Dostosowane przez Autorów tryby pracy kotłów pozwoliły na redukcję emisji tlenków azotu podczas wspólnego spalania paliwa przynajmniej o 20% przy jednoczesnym zwiększeniu wydajności kotłów.
4. Modyfikacja zaworowawczy rozpylacza palników mazutowych zapewni jego maksymalną efektywność przy zdławieniu emisji tlenków azotu oraz zapewni dobrą jakość spalania mazutu przy jego umiarkowanym ciśnieniu występującym w trakcie wspólnego spalania gazu i mazutu.

Literatura

- Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами (1986). Л. Гидрометеоиздат. Госкомгидромет.
- Jemieljanow, A. A., (1992). *Opracowanie urządzeń wtryskujących dla zdławienia tlenków azotu przy spalaniu gazu i mazutu w paleniskach kotłów*. Autoreferat rozprawy doktorskiej. Sankt – Petersburg.
- Кузнецова, Н. и др. (1973). Тепловой расчет котельных агрегатов: Норматив. метод. М.: Энергия.
- Pavlenko, A., Szkarowski, A., Janta-Lipińska, S. (2014). Badania spalania emulsji paliwowych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 16, 376-385.
- Roslakow, P. W. (1986). Obliczenie wytwarzania się paliwowych tlenków azotu przy spalaniu paliwa zawierającego azot. *Energetyka cieplna 1(1)*, 37-41.
- Szkarowski, A. (1997). *Podwyższenie efektywności ochrony atmosfery przy spalaniu gazowego i ciekłego paliwa*. Autoreferat rozprawy habilitacyjnej. Sankt-Petersburg.
- Szkarowski, A. (2001). Technologia redukcji emisji NO_x metodą dozowanego skierowanego balastowania płomienia. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 3, 53-73.
- Szkarowski, A. (2002). Zasady obliczeń zdławienia NO_x metodą dozowanego skierowanego wtrysku balastu wodnego. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 4, 365-378.
- Szkarowski, A. (2003). Szczegółowe problemy sprawnego i ekologicznego spalania paliwa w przedpaleniskach pieców. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 5, 67-78.

- Szkarowski, A., Janta-Lipińska, S. (2009). Automatyczne sterowanie jakością spalania paliwa stałego w kotłach przemysłowo-grzewczych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 11(2), 241-255
- Szkarowski, A., Janta-Lipińska, S. (2011). Modelowanie optymalnego spalania w kotłach przemysłowo-grzewczych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 13, 511-524.
- Szkarowski, A., Janta-Lipińska, S. (2013). Badania energo-ekologicznych wskaźników pracy kotłów przy spalaniu paliwa ze sterowanym resztkowym niedopałem chemicznym. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 981-995.
- Szkarowski, A., Janta-Lipińska, S. (2015). Badania doświadczalne a dokładność opracowanego modelu. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 576-584.
- Szkarowski, A., Janta-Lipińska, S., Gawin, R. (2016). Obniżenie emisji tlenków azotu z kotłów DKVR. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 18, 565-578.
- Szyszlak-Bargłowicz J., Zajac G., Słowik T. (2017). Badanie emisji wybranych zanieczyszczeń gazowych podczas spalania peletów z agrobiomasy w kotle małej mocy. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 19, 715-730.

Research on Co-combustion of Gas and Oil Fuels

Abstract

Nowadays natural gas and fuel oil (mazut) are fuels commonly used in low and medium power industrial boiler houses. Currently majority of refineries improves technological processes of crude oil processing. Each processing of the resource, i.e. crude oil, changes many physio-chemical properties of fuel oil. As a result, while fuel oil combustion, indicators provided in boiler's manual are violated, incomplete combustion is increased, sediments made of coke are created on heat exchange surfaces and combustion stability decreases until flameout, among others. Increasing speed and completeness of the combustion process as well as effective use of screen surfaces requires the highest possible level of fuel dispersing. However, available boilers' burner injectors intended for fuel oil combustion are not capable of spraying it at level lower than 100 μm .

That is why rarely used co-combustion of gas fuel and fuel oil turns out to be a great solution in this situation. It leads to increased emission rate and boiler's proficiency, as well as prevents deposition and coking of fuel oil leftovers on boiler's surfaces.

Achieved research results were used in practice in order to decrease emission of nitric oxides into the atmosphere and increasing thermal efficiency of type DKVR 10-10 boiler. The study was conducted on an example of three boilers installed in the Wyborsky's Eighth Regional Industrial Boiler House of

Sankt Petersburg Region. In the case of this boiler, the analysis of methods aimed at decreasing emission of nitric oxides and author's experiences, indicate important advantages of method based on injection of moisture into the combustion area. However, this method requires setting optimal parameters in order to use it. That is why in order to inject additional moisture, which is needed for pulverizing fuel oil, mixer of pulverizing head needs to be modified (Fig. 1). The abovementioned actions allowed to assume lowering NO_x emission by 30% with gas fuel combustion and 20% with gas fuel and fuel oil co-combustion. Emission of NO_x is provided in conversion to mass emission of nitric oxides, because this indicator characterizes absolute impact of harmful parts of combustion gases on atmosphere pollution (Fig. 3 and 4). Three levels of potential impact of emission with boiler's combustion gases on atmosphere pollution with gas fuel combustion as well as co-combustion of gas fuel and fuel oil were taken into consideration while conducting the analysis.

The abovementioned solutions provided general improvement in boiler's operation and increased efficiency of fuel use during co-combustion of gas and fuel oil.

Streszczenie

W dzisiejszych czasach gaz ziemny oraz ropa naftowa (mazut) są paliwami powszechnie wykorzystywanymi w kotłowniach przemysłowo-grzewczych małej i średniej mocy. Obecnie większość rafinerii doskonalą procesy technologii przeróbki ropy naftowej. Każda przeróbka surowca tj. ropa naftowa powoduje zmiany szeregu fizyko-chemicznych właściwości mazutu. Wskutek tego podczas spalania mazutu następuje m.in. naruszenie wskaźników przewidywanych w karcie pracy kotła, zwiększenie jego niezupełności spalania, powstawanie na powierzchniach wymiany ciepła osadów z cząsteczek koksu oraz obniżenie stabilności spalania aż do zerwania płomienia. Aby móc zwiększyć szybkość i zupełność procesu spalania oraz efektywne wykorzystanie powierzchni ekranowych należy zapewnić jak najwyższy stopień dyspergowania paliwa. Jednak istniejące wtryskiwacze palników kotłów przeznaczonych do spalania mazutu nie są w stanie zapewnić jego rozpylania na poziomie poniżej 100 μm .

Dlatego też rzadko stosowane wspólne spalanie paliwa gazowego i mazutu okazuje się tutaj doskonałym rozwiązaniem posiadającym kilka atutów. Prowadzi ono, bowiem do zwiększenia współczynnika emisyjności, zwiększenia sprawności kotła a także zapobiega osadzaniu się i koksowaniu się resztek mazutu na powierzchniach kotła.

Uzyskane wyniki badań wykorzystano w praktyce w celu zmniejszenia emisji tlenków azotu do atmosfery oraz poprawy sprawności cieplnej kotła typu DKVR 10-13. Opracowanie wykonane zostało na przykładzie jednego z trzech

kotłów zainstalowanych w Ósmej Rejonowej Kotłowni Wyborskiego Rejonu Sankt-Petersburga. W przypadku niniejszego kotła analiza metod zmniejszenia emisji tlenków azotu i doświadczenia autorów wykazują istotne zalety metody wtrysku wilgoci do strefy spalania. Metoda ta wymaga jednak określenia optymalnych charakterystyk parametrów jej zastosowania. Dlatego też w celu wtrysku dodatkowej wilgoci, która jest potrzebna do rozpryskiwania mazutu należy odpowiednio zmodyfikować zawirowywacze głowicy rozpryskującej (rysunek 1). Powyższe działania pozwoliły założyć poziom zmniejszenia emisji NO_x o 30% przy spalaniu paliwa gazowego oraz o 20% przy wspólnym spalaniu paliwa gazowego i mazutu. Emisję NO_x podaje się w przeliczeniu na masową emisję tlenków azotu, ponieważ właśnie ten wskaźnik charakteryzuje bezwzględny wpływ emisji szkodliwych składników spalin na zanieczyszczenie atmosfery (rysunek 3 i 4). W trakcie przeprowadzonej analizy uwzględniane zostały trzy poziomy ewentualnego wpływu emisji ze spalinami kotłów na zanieczyszczenie atmosfery zarówno przy spalaniu paliwa gazowego jak i wspólnym spalaniu paliwa gazowego i mazutu.

Powyższe autorskie rozwiązania towarzyszyły ogólnemu usprawnieniu pracy kotła i zwiększeniu efektywności wykorzystania paliwa przy wspólnym spalaniu gazu i mazutu.

Słowa kluczowe:

mazut, rozpryskiwacz, paliwo gazowe, kocioł przemysłowo-grzewczy, spalanie, emisja

Keywords:

fuel oil, pulverizer, gas fuel, industrial heating boiler, combustion, emission