ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: ENERGETYKA z. 121 Nr kol. 1261

Andrzej KULPA, Henryk JADAMUS
ECOENERGIA Sp z o. o., Warszawa

WYNIKI EKSPLOATACJI PALNIKÓW NISKOEMISYJNYCH NO_X TYPU WIROWEGO I STRUMIENIOWEGO W KOTŁACH ENERGETYCZNYCH

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań i doświadczeń eksploatacyjnych z pracy kotłów energetycznych z zabudowanymi palnikami niskoemisyjnymi NO_x typu wirowego i strumieniowego, wykonanymi według założeń Instytutu Energetyki w Warszawie. Instalowanie palników wirowych typu NSW przy kotłach o różnej wydajności, o odmiennym rozmieszczeniu palników na ścianach kotłowych oraz zasilanych z różnych typów młynów węglowych, pozwoliło również na ocenę skutków ubocznych, związanych z pracą tych palników i opracowanie konstrukcji dla najtrudniejszych warunków.

RESULTS OF EXPLOITATION OF LOW NO_x EMISSION SWIRL AND STREAM IN ENERGETIC BOILERS

Summary. In this work there are shown results and exploitation experiences of work of power boilers with built up low NO_x emission swirl and stream burners made under project of Energetic Institute of Warsaw. Installing of swirl burners NSW type in boilers with different efficiency, different burners location on the boiler's wall and supplied with coal by different types of coal mills has allowed to appreciate side–effects associated with work of this burners, and to design the construction for the worst working conditions.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВИХРЕВЫХ И ПРЯМОТОЧНЫХ ГОРЕЛОК СО СНИЖЕННЫМ ВЫХОДОМ NO_x НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ

Резюме. В статье представлено результаты исследований и эксплуатационных опытов полученных на котлах с вихревыми и прямоточными горелками со сниженным выходом NO_x, которые были внедренные фирмой ECOENERGIA на основе сотрудничества с Институтом Энергетыки в Варшаве. Эксплуатация вихревых горелок типа NSW на котлах с разной производительностью, при разном размещении горелок на экранах котлов, а также питание из разных типов угольных

мельниц дало возможность оценки побочных следствий работы горелок. На этой основе разработана конструкция горелки для самых сложных условий работы.

1. WSTĘP

Wymagania w zakresie ochrony środowiska przed nadmierną emisją tlenków azotu do atmosfery, wprowadzone rozporządzeniem Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 12 lutego 1990 r., wymusiły zainteresowanie i rozwój technik niskoemisyjnego spalania węgla w kotłach energetycznych.

Próby zorganizowania procesu spalania według zasad spalania niskoemisyjnego w istniejących paleniskach były prowadzone od kilku lat przez elektrownie z udziałem m.in. Instytutu Energetyki, Rafako Racibórz, Energopomiaru i CBKK.

Wyniki tych prac wykazały, że uzyskanie znacznej redukcji tlenków azotu, gwarantującej spełnienie wymagań ww. rozporządzenia MOSZNiL po roku 1997, będzie wymagało zastosowania specjalnych palników i znacznej rekonstrukcji kotła w zakresie rozdziału, kontroli i regulacji powietrza doprowadzanego do spalania [1, 2, 3].

Jakkolwiek zaostrzone normy emisji NO_x obowiązywać będą od 1998 roku, już obecnie w dużych elektrowniach i elektrociepłowniach instalowane są palniki niskoemisyjne firm zagranicznych i krajowych.

Pierwsze nielaboratoryjne palniki niskoemisyjne NO_x, opracowane przez Instytut Energetyki i ECOENERGIĘ, zainstalowano w EC Żerań przy kotle parowym typu OP–230 w 1991 roku. Były to palniki typu wirowego z wewnętrzną separacją pyłu węglowego.

Palniki typu strumieniowego, zaprojektowane przez IEn wraz z ECOENERGIĄ zabudowano przy kotle wodnym WP–120 w EC Lublin–Wrotków w 1993 r.

Obecnie niskoemisyjne palniki wirowe typu NSW pracują przy pięciu kotłach OP–230 z młynami wentylatorowymi, jednym kotle OP–230 z młynami pierścieniowo–kulowymi oraz przy kotle OP–650 z czterema młynami pierścieniowo–kulowymi.

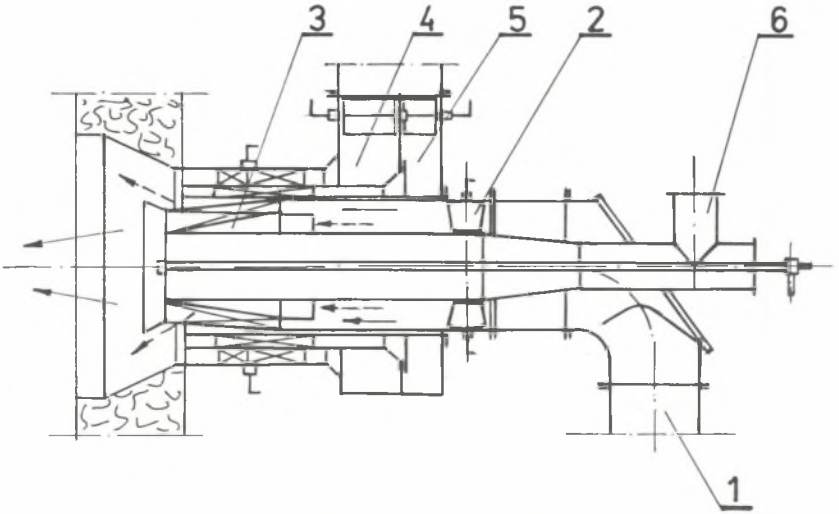
Palniki do kotła OP–650 wykonało RAFAKO Racibórz na podstawie zawartej umowy licencyjnej.

Badania eksploatacyjne kotłów z niskoemisyjnymi palnikami prototypowymi były finansowane przez Komitet Badań Naukowych. Zebrane doświadczenia pozwalają już na dokonanie oceny przyjętych rozwiązań.

Założenia projektowe oraz ocenę wyników badań wykonanych podczas rozruchu i optymalizacji palników strumieniowych przedstawił Instytut Energetyki w oddzielnym referacie.

OPIS KONSTRUKCJI

Schemat konstrukcyjny niskoemisyjnego palnika wirowego NSW z wewnętrzną separacją pyłu węglowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Palnik niskoemisyjny NO_x typu NSW: 1. doprowadzenie paliwa, 2. zawirowywacz, 3. separator wewnętrzny, 4. powietrze wtórne zewnętrzne, 5. powietrze wtórne wewnętrzne, 6. powietrze rdzeniowe

Fig. 1. Low NO_x emission burner NSW type: 1. Fuel supply, 2. Swirler, 3. Internal separator, 4. External overfire air, 5. Internal overfire air, 6. Core air

Mieszanina pyłowa doprowadzona do palnika kolanem przypalnikowym zostaje zawirowana w zawirowywaczu łopatkowym, a następnie w separatorze wewnętrznym podzielonym na sześć strumieni o wysokiej koncentracji, wypływających wzdłuż osi palnika oraz sześć strumieni o niskiej koncentracji, kierowanych do strumienia powietrza wtórnego.

Powietrze wtórne wypływa z dużą prędkością przez dwa współosiowe kanały znajdujące się na zewnątrz dyszy pyłowej. Ilość powietrza, przepływająca przez obydwa kanały jest regulowana niezależnymi klapami odpowiednio do obciążenia palnika (kotła). Powietrze to jest zawirowane, a wir powietrza zewnętrznego regulowany zmianą kąta wypływu w granicach $\pm 10^{\circ}$.

Dyfuzor wylotowy palnika posiada kształt stożka z zakończeniem walcowym.

Powierzchnia czołowa separatora wewnętrznego jest wysunięta w kierunku komory paleniskowej względem wylotu dysz powietrza wtórnego.

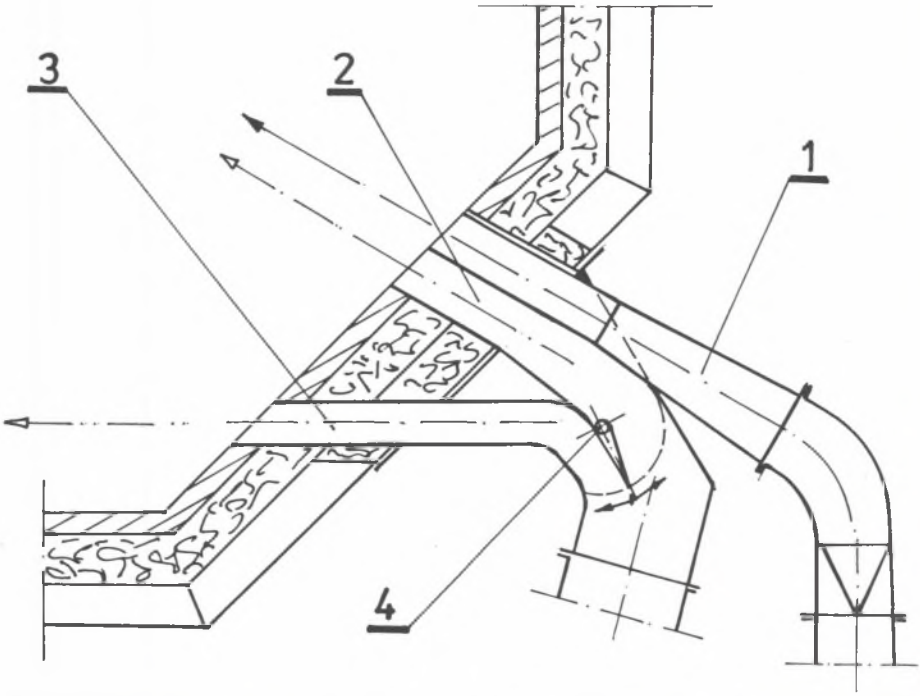
Do rury nośnej palnika doprowadzone jest powietrze chłodzące tzw. rdzeniowe.

Materiały konstrukcyjne palnika dobrano stosownie do funkcji poszczególnych elementów, a mianowicie:

- dyfuzor wylotowy wykonano z betonu żaroodpornego, początkowo korundowego, a w następnych wykonaniach szamotowego;
- część przednią (od strony komory paleniskowej) separatora wewnętrznego wykonano ze stali żaroodpornej, a tylną ze stali odpornej na ścieranie.

W wersji docelowej przewiduje się wykonanie separatora wewnętrznego w postaci odlewu staliwnego wg technologii Instytutu Odlewnictwa Politechniki Śląskiej [4];

- bęben i łopatki wstępnego zawirowywacza mieszaniny paliwowo–gazowej wykonano ze stali odpornej na ścieranie;
- obudowa palnika wykonana jest ze stali węglowej z wyjątkiem żaroodpornych końcówek dysz powietrza wtórnego;
- kolano przypalnikowe wykonano z żeliwa wysokostopowego odpornego na ścieranie.



Rys. 2. Palnik niskoemisyjny strumieniowy: 1. doprowadzenie paliwa, 2. powietrze wtórne, 3. powietrze naścienne

Fig. 2. Swirl burner with low NO_x emission: 1. Fuel supply, 2. Overfire air, 3. Overwall air

Schemat niskoemisyjnego palnika strumieniowego, zgodnie z projektem technicznym, przedstawiony jest na rys. 2. Palnik zabudowany jest w narożu komory paleniskowej.

Dysza pyłowa o kształcie wydłużonego prostokąta skierowana jest na umowne koło wiru.

Powietrze wtórne, doprowadzone do palnika, podzielone jest na dwa strumienie: większy – równoległy do dyszy pyłowej oraz mniejszy – skierowany stycznie do ekranu bocznego.

Kierownica przestawiana ręcznie, zabudowana na korpusie palnika, służy do regulacji rozdziału powietrza na obydwie dysze.

Dodatkowo wokół dyszy pyłowej wykonane są szczeliny dla wypływu powietrza chłodzącego.

Całkowita ilość powietrza wtórnego doprowadzona do każdego palnika jest kontrolowana (mierzona) i regulowana w sposób automatyczny.

Palnik pyłowy strumieniowy jest konstrukcją całkowicie spawaną. Dysze powietrza oraz dysza pyłowa wykonane są ze stali żaroodpornej, a korpus palnika ze stali węglowej. Kolano przypalnikowe jest odlewem z żeliwa wysokostopowego.

Zarówno palniki wirowe, jak i strumieniowe stosowane są z układem stopniowego spalania, co wymaga wykonania nad palnikami pyłowymi dodatkowych dysz powietrza tzw. OFA.

WYNIKI BADAŃ

Pomiary i badania podstawowych parametrów pracy kotłów z palnikami o niskiej emisji NO_x z analizą spalin, wykonane po rekonstrukcji kotłów, obejmowały:

- badania pracy systemu młynowego;
- pomiary układów powietrza i spalin;
- analizę pracy kotła w różnych warunkach eksploatacyjnych, z wyznaczeniem sprawności.

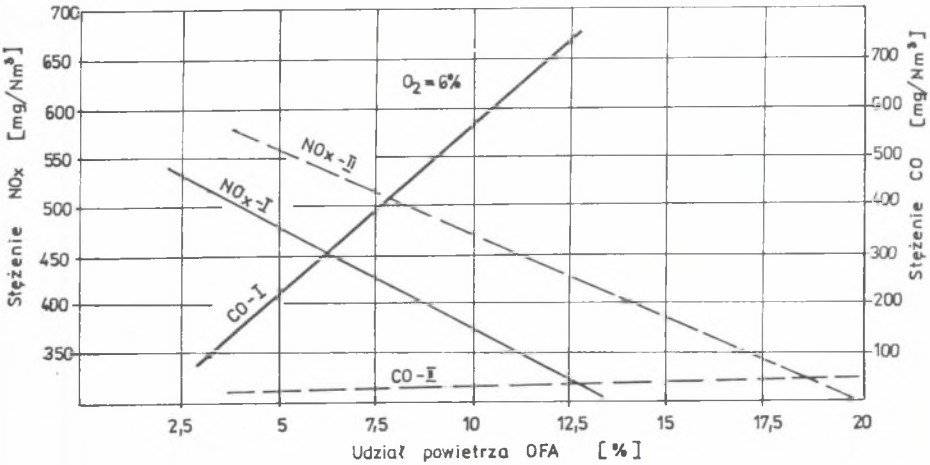
Wyniki wykonanych pomiarów [5, 6, 7] potwierdzają stabilną pracę kotłów z palnikami niskoemisyjnymi w szerokim zakresie zmian obciążeń, przy nie pogorszonej sprawności. Możliwa jest praca kotła przy obciążeniu 50% przy spalaniu wyłącznie pyłu węglowego.

Pomiary stężeń NO_x i CO w spalinach wykazały, że palniki niskoemisyjne NSW powodują znaczną redukcję tlenków azotu, wynoszącą nawet 50%.

Dodatkowo zastosowany układ stopniowania powietrza pozwala na uzyskanie wartości emisji znacznie poniżej wymagań normy, przewidzianych po 1997 r.

W przypadku niedotrzymania wymagań w zakresie jakości przemiału węgla obniżeniu emisji NO_x, w miarę zwiększania ilości powietrza OFA, towa-

rzyszy wzrost emisji CO tym większy, im gorsza jest charakterystyka przemiałowa pyłu węglowego z młynów (rys. 3).



Rys. 3. Wpływ udziału powietrza OFA na emisję NO_x i CO: I – gruby przemiał (R_{90} = 50%; R_{200} = 20%), II – poprawny przemiał (R_{90} = 30%; R_{200} = 3%)

Fig. 3. Dependence of NO_x and CO emission on OFA: I – coarse–grained milling (R_{90} = 50%, R_{200} = 20%), II – fine milling (R_{90} = 30%, R_{200} = 3%)

Uzasadnia to konieczność modernizacji młynów węglowych, proponowaną również przez projektantów młynów [3].

W wyniku badań palników prototypowych ustalono optymalne parametry konstrukcyjne, jak np:

- wysunięcie separatora wewnętrznego względem płaszczyzny wylotu powietrza wtórnego;
- kąt zawirowania powietrza wtórnego w dyszy zewnętrznej;
- kąt wstępnego zawirowania mieszanki pyłowej i ilość łopatek zawirowywacza;
- podział powietrza wtórnego na obydwa strumienie (położenie klap nastawianych ręcznie).

DOŚWIADCZENIA EKSPLOATACYJNE

Pierwsze palniki niskoemisyjne NSW zabudowano w kotle OP–230 przy zachowaniu istniejących gniazd palnikowych w komorach paleniskowych i wykorzystaniu dotychczasowej instalacji doprowadzenia paliwa i powietrza do kotła. Maksymalne uproszczenie konstrukcji było podyktowane decyzją

elektrociepłowni o rezygnacji z proponowanej automatyki. Osiem sztuk palników NSW zabudowano na obydwu ścianach bocznych kotła. Nad palnikami głównymi wykonano dysze powietrza OFA.

Ściany kotła wykonane są jako nieszczelne, z wymurówką szamotową.

Palniki zasilane są pyłem węglowym o przemiale R_{90} = 36% i R_{200} = 23%, z młynów węglowych wentylatorowych MWk–16.

Wentylacja młynów wynosi 22 · 10^3 m_n^3/h. Świadczy to o niespełnieniu wymagań projektowych.

Dyfuzory wylotowe palników wykonano z lanego betonu żaroodpornego, korundowego.

Ze względu na małą podziałkę kotłów OP–230 zrezygnowano z zabudowania palników rozpałkowych w osi palników głównych. Palniki te zabudowano obok palników głównych z dyszą w dyfuzorze palnika głównego.

Po 2,5–letniej eksploatacji kotła stan techniczny palników jest poprawny. Wszystkie elementy regulacyjne są sprawne, a zużycie erozyjne części narażonych na działanie pyłu węglowego nieznaczne.

W związku z możliwością przegrzania końcówek łopatek separatora wewnętrznego opracowano konstrukcję odlewaną ze staliwa żaroodpornego i odpornego na ścieranie o składzie modyfikowanym przez Instytut Odlewnictwa Politechniki Śląskiej. Wykonanie to gwarantuje poprawną pracę palnika przez 5 lat.

Miejscowe ubytki betonu w dyfuzorach były spowodowane uszkodzeniami mechanicznymi podczas usuwania niewielkich ilości żużla z rur ekranowych, a także oddziaływaniem przesuwających się rur ekranowych na wystające z obmurza krawędzie stałych dyfuzorów. Usterkę wyeliminowano przez wzmocnienie zbrojenia betonu dyfuzora i zmianę wymiarów dyszy wylotowej.

Wyniki doświadczeń eksploatacyjnych palników wirowych typu NSW, zabudowanych na ścianie przedniej kotła OP–230 z ekranami szczelnymi i zasilanych młynami pierścieniowo–kulowymi, są w zasadzie podobne.

Rozbudowany na potrzeby automatyki układ kontroli i regulacji powietrza doprowadzanego do kotła pozwala na dokładną regulację parametrów pracy każdego palnika.

Ze względu na złą jakość przemiału z młynów węglowych typu EM–70, charakteryzującą się pozostałością na sicie $R_{90} \approx 50\%$ i $R_{200} \approx 20\%$, zalecono modernizację odsiewaczy młynów węglowych. Podczas remontu kotła zmodernizowano tylko dwa młyny, zasilające górny i częściowo środkowy rząd palników, uzyskując $R_{90} \approx 30 \div 40\%$ oraz $R_{200} \approx 2 \div 3\%$. Pozostałe dwa młyny zostaną zmodernizowane przy następnym postoju kotła.

W celu zbadania zmian temperatury palnika w warunkach eksploatacyjnych zabudowano termopary na powierzchni czołowej separatora palnika najbardziej obciążonego cieplnie.

Pomiar temperatury wykazał, że podczas pracy palnika temperatura części metalowych, wysuniętych do komory paleniskowej waha się w granicach 380 ÷ 400°C, natomiast po wyłączeniu palnika z pracy temperatura rośnie do około 880 ÷ 900°C, przy przepływie przez palnik powietrza chłodzącego w ilości określonej w projekcie. Zmniejszenie chłodzenia np. przez obniżenie ciśnienia powietrza w kolektorze może doprowadzić do dalszego wzrostu temperatury.

Sprawdzono również wpływ przepływu powietrza przez rurę centralną (tzw. rdzeniowego) na temperaturę palnika.

Całkowite odcięcie przepływu powietrza rdzeniowego przez palnik nie pracujący powodowało wzrost temperatury czołowej powierzchni separatora zaledwie o około 5°C. Redukcja tlenków azotu uzyskana na tym kotle wynika obecnie jedynie z dobrej pracy palnika pyłowego.

Dalszy efekt, spowodowany działaniem układu stopniowania powietrza (OFA), będzie możliwy do uzyskania po zmodernizowaniu dwóch pozostałych młynów węglowych.

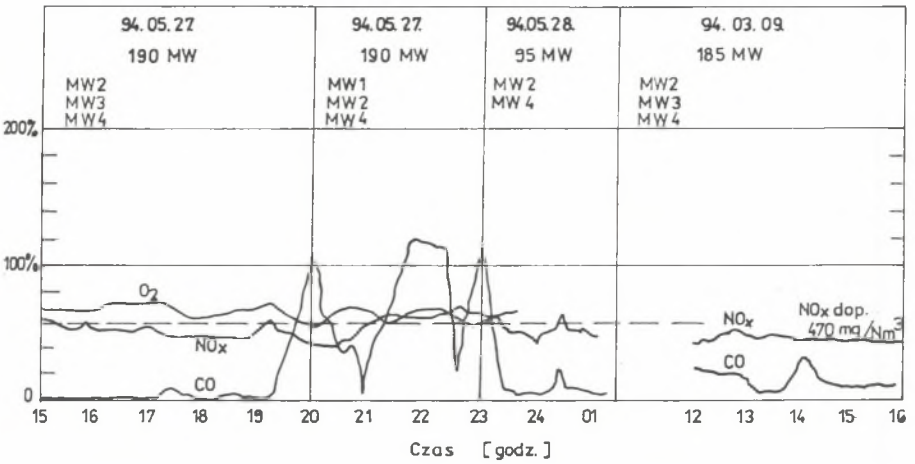
Obecny stan młynów nie pozwala na zwiększenie ilości powietrza OFA do planowanych 20% ze względu na przewlekłe spalanie i szybki wzrost CO w spalinach ponad wartości dopuszczalne.

Ponad półroczna eksploatacja kotła OP–650 z palnikami niskoemisyjnymi NSW zabudowanymi na ścianie przedniej w miejscach dotychczasowych palników pyłowych potwierdziła, stwierdzone już wcześniej na kotłach OP–230, możliwości redukcji stężenia tlenków azotu w spalinach poniżej wymaganych wartości 170 g/GJ lub 470 mg/m_n^3, przy 6% O_2, w szerokim zakresie zmian obciążeń kotła od 50% do 100% (rys. 4).

Po uruchomieniu i w początkowym okresie eksploatacji kotła palniki pracowały w warunkach odbiegających od założeń projektowych. Nadmierna wentylacja młynów węglowych wymuszała znaczną redukcję ilości powietrza wtórnego. Założone prędkości wypływu mieszaniny pyłowej i powietrza wtórnego z dysz palnika nie mogły być dotrzymane. Pomimo to redukcja stężenia tlenków azotu w spalinach była zbliżona do wartości dopuszczalnej.

Warunki pracy palników uległy znacznej poprawie po zmniejszeniu wentylacji młynów węglowych, możliwej do uzyskania po skorygowaniu szczeliny przelotowej w młynie.

W początkowym okresie eksploatacji kotła, po zabudowaniu palników niskoemisyjnych, stwierdzono zużywanie się warstwy betonowej dyfuzorów wylotowych palników w miejscach położonych na wprost szczelin wylotowych „ubogiej w paliwo" mieszanki pyłowej. Było to spowodowane niewłaściwym wykonaniem wymurówki, a także pracą palnika przy dużej wentylacji młynów i minimalnym wysunięciu separatora wewnętrznego do komory paleniskowej.



Rys. 4. Wykres analizy spalin za kotłem OP–650 z palnikami NSW podczas optymalizacji procesu spalania

Fig. 4. Chart of flue gases analysis after OP–650 boiler with NSW burners during optimization of burning

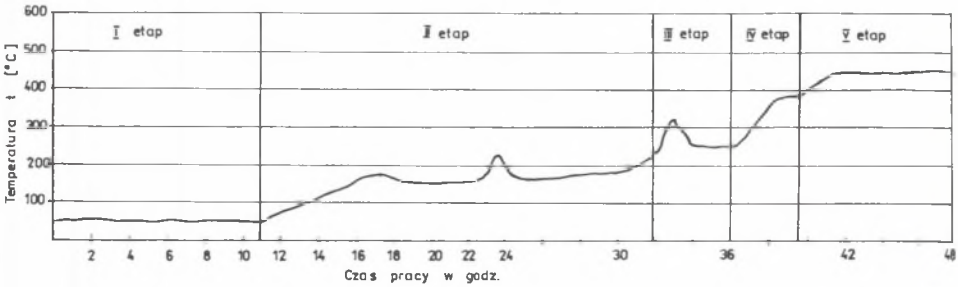
Podczas postoju kotła dyfuzory wszystkich palników wykonano ponownie pod nadzorem specjalistów z CBKK (Tarnowskie Góry), a proces suszenia prowadzono z kontrolą i rejestracją temperatury obmurza za pomocą termopar wmontowanych w dyfuzory dwóch palników dolnego rzędu. Układ pomiarowy wykorzystano dla sprawdzenia temperatury podczas normalnej eksploatacji kotła (rys. 5).

Poważnym problemem w eksploatacji kotłów z palnikami niskoemisyjnymi jest korzystanie z wiarygodnego pomiaru zawartości tlenu w spalinach za kotłem. Brak właściwych warunków pomiarowych w przewodzie spalin za kotłem powoduje, że punktowy pomiar O_2 nie jest reprezentatywny dla całej objętości spalin. Z tego powodu wprowadzono układ uśrednionego pomiaru O_2, zaprojektowany i sprawdzony przez Rafako Racibórz na innych obiektach.

Układ palnikowy kotła OP–650 w prototypowym wykonaniu został nadmiernie rozbudowany, co utrudnia obsługę i wszelkie prace remontowe.

Wykonane badania i zebrane doświadczenia eksploatacyjne pozwalają na dokonanie znacznych uproszczeń konstrukcyjnych w dalszych rozwiązaniach palników niskoemisyjnych dla tego i podobnych kotłów.

W kotle z palnikami niskoemisyjnymi typu strumieniowego pomimo niekorzystnych parametrów pracy zespołów młynowych (duża wentylacja i gruby przemiał jednego z młynów) uzyskano wszystkie gwarantowane parametry w zakresie emisji NO_x, stabilności pracy i sprawności kotła.



Rys. 5. Wykres zmian temperatury wymurówki dyfuzora palnika NSW: I etap – wygrzewanie wodą w ekranach, II etap – praca palników olejowych, III etap – uruchomienie młyna węglowego i synchronizacja bloku, IV etap – praca eksploatacyjna bloku

Fig. 5. Chart of temperature changing of NSW burner's diffused lining: 1st stage – preheating with water in shields, 2nd stage – preheating by oil burners, 3rd stage – start–up of coal mill and power unit synchronization, 4th stage – normal work of power unit

W celu uzyskania lepszych efektów w zakresie zwiększenia sprawności kotła konieczna jest modernizacja trzeciego młyna węglowego.

Oględziny palników dokonano podczas postoju kotła nie wykazały uszkodzeń termicznych ani erozyjnych. Nie zaobserwowano żużlowania komory w pasie palnikowym ani na poziomie dysz OFA.

PODSUMOWANIE

Dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne z pracy kotłów z palnikami niskoemisyjnymi NO_x typu wirowego i strumieniowego wykazały, że gwarantują one redukcję stężenia tlenków azotu w spalinach do wartości dopuszczalnych po 1997 roku, określonych w rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 12 lutego 1990 r. Dz. U. R. P. 1990 nr 15 poz. 92.

Palniki te gwarantują stabilną pracę i wymaganą redukcję NO_x również przy 50% obciążeniu kotła bez wspomagania olejem.

Praca palników wirowych na kotłach różnej wielkości i zasilanych przez młyny węglowe różnych typów pozwoliła na dobre rozeznanie skutków ubocznych, wynikających z techniki spalania niskoemisyjnego oraz opracowanie odpowiednich rozwiązań zaradczych.

Przeprowadzone badania potwierdzają, że wraz z zastosowaniem palników niskoemisyjnych należy bezwarunkowo wprowadzić automatykę w zakresie układu doprowadzenia powietrza do kotła, zastosować pewny pomiar O_2 i CO

w spalinach za kotłem, zmodernizować zespoły młynowe dla zmniejszenia wentylacji i poprawienia przemiału oraz zapewnić stałe nadciśnienie w kolektorze powietrza gorącego na poziomie co najmniej 1,5 Pa.

Aby umożliwić obsłudze kotła bieżącą kontrolę pracy palników niskoemisyjnych i jednoznaczne przedstawienie efektu rekonstrukcji kotła celowe jest zabudowanie układu do ciągłego pomiaru stężenia NO_x w spalinach.

LITERATURA

[1] Wróblewska V.: Warunki powstawania i redukcji tlenków azotu w kotłach energetycznych. Energetyka 1989, nr 3.
[2] Bogucki B., Wróblewska V.: Możliwość zmniejszenia emisji tlenków azotu z kotłem OP–650 w Elektrowni Dolna Odra. Energetyka 1992, nr 12.
[3] Krupa M., Bobiec E., Chowaniec G.: Kierunki modernizacji młynów wynikające z potrzeby obniżenia emisji tlenków azotu. Energetyka 1992, nr 10.
[4] Jura S., Kilarski J., Tenerowicz S.: Sprawozdanie z pracy badawczej pt. „Doskonalenie materiału i technologii wykonania separatora palnika pyłowego NSW metodą odlewniczą. Politechnika Śl. Instytut Odlewnictwa, Gliwice 1994. Praca nie publikowana.
[5] Szymczak J., Zaręba R., Świrski J., Wróblewska V.: Wynik pomiarów pomodernizacyjnych kotła nr 5 w EC Żerań. Praca Instytutu Energetyki, Warszawa 1992 (nie publikowana).
[6] Wróblewska V., Świrski J. i zespół: Badania eksploatacyjne prototypów palników niskiej emisji NO_x dla kotłów WP–120 i OP–230. Praca badawcza Instytutu Energetyki, Warszawa 1993 (nie publikowana).
[7] Golec T., Wróblewska V., Świrski J.: Badania eksploatacyjne prototypów palników niskiej emisji NO_x i analiza wyników w celu doboru optymalnych warunków pracy. Praca Instytutu Energetyki, Warszawa 1992 (nie publikowana).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik CWYNAR

Wpłynęło do Redakcji 9.09.1994 r.

Abstract

Our up to the present experience with trials of limitation NO_x emission in flue gases of power boilers points that fillings of sharpen norms of nitric

oxides emission, approved for applying in Poland beyond 1997 by decree of Ministry of Environment Protection, Natural Resources and Forestry from 12 February, 1990 will require to reconstruct boilers in the range of changing main burners, growing up an supplying and control systems, growing up boilers automatics and introducing of systems of constant monitoring of O_2 and basic gases pollutants.

For a few last years in power and heat–generating plants are installed burners with low NO_x emission of domestic and foreign firms.

Low NO_x emission swirl burners, designed under project of Energetic Institute of Warsaw, were working from November 1991.

Up to now they were installed on seven boilers with working capacity from 240 to 650 tons of steam per hour.

Steam burners were already working in heating season 1993/94 in water heater WP–120 type.

The results of tests and experiments of working of boilers with mentioned burners are proving that reduction of nitric oxides, depending on usage of this burners, is at least 50% of the value before modernisation of the burners.

To comply with the norm, that means to obtain the NO_x emission below 170 g/GJ, it is necessary to use simultaneously the air graduation system.

Deep NO_x reduction obtained by increasing of OFA makes increase of CO emission, more greater when coal mill characteristic is worse.

Basing on the conducted tests of prototype burners there have been fixed the best construction parameters which allow to simplify construction of the burners, and temperature measurements of metal parts and lining has allowed for verification of kind of used materials.

Experiences gained during tests of prototype low NO_x emission burners give the basis for designing swirl and stream burners for the bigest steam boilers and water heaters.