ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: ENERGETYKA z. 120 Nr kol. 1260

Bogusław BOGUCKI, Bolesław W. KANIA
RAFAKO–ENERGO, Oddział Warszawa

DOŚWIADCZENIA Z OPTYMALIZACJI PRACY KOTŁOWYCH INSTALACJI PALENISKOWYCH MODERNIZOWANYCH W CELU OGRANICZENIA EMISJI TLENKÓW AZOTU

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki optymalizacji pracy instalacji paleniskowych kilku kotłów El. Połaniec, EC Siekierki i EC Łódź 2, redukujących emisję tlenków azotu. Przedstawiono również zagadnienia mające wpływ na poprawną pracę kotłów wyposażonych w takie instalacje.

EXPERIENCE ON OPTIMISATION OF BOILER FURNACE INSTALLATION WORK BEING MODERNIZED FOR DECREASING OF NO_X EMISION

Summary. Results combustion optimisation on Low NO_x burners carried out in power plant Połaniec, Siekierki and Łódź 2 are presented in this article. Also some problems heaving influence on boiler with Low NO_x installation proper performance are presented.

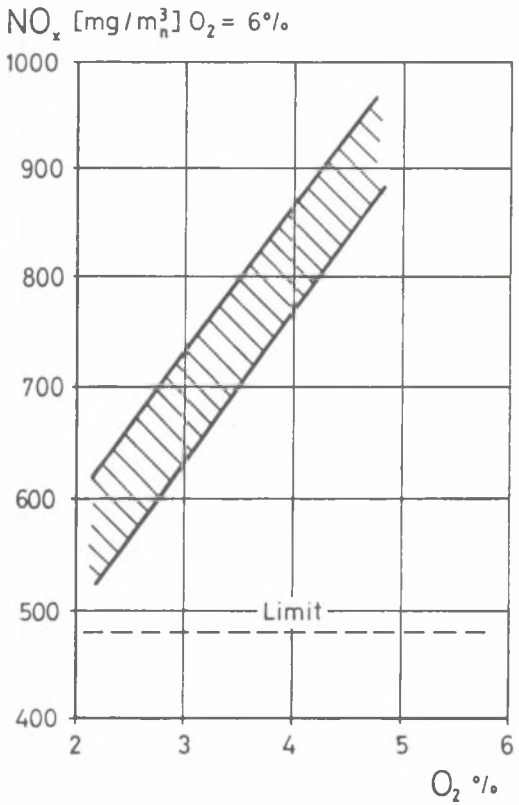
ОПЫТ СВЯЗАННЫЙ С ОПТИМАЛИЗАЦИЕЙ РАБОТЫ ГОРЕЛОЧНЫХ СИСТЕМ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ ОКИСЛОВ АЗОТА

Резюме. В статье представлены результаты оптимализации работы топочных систем нескольких котлов ТЭС Поланец, ТЭЦ Секерки и ТЭЦ Лодь 2 которые уменьшают эмиссию окислов азота. Представлены тоже проблемы влияющие на правильную работу котлов оборудованных такой системой.

1. WSTĘP

Postęp w zakresie redukcji emisji NO_x w polskiej energetyce jest dziełem ostatnich lat [1, 2, 3]. W latach 1993 i 1994 projektowane wcześniej w RAFAKO instalacje paleniskowe dla wielu elektrowni i elektrociepłowni poddano regulacji i optymalizacji. Działania te stały się testem przyjętych koncepcji oraz zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych.

Oddział warszawski RAFAKO–ENERGO optymalizował pracę instalacji kotłów w EC Siekierki, El. Połaniec [4] oraz EC Łódź 2. Instalacje te, z narożnikowym układem palników szczelinowych, miały różne zakresy modernizacji, wynikające ze stanu technicznego poszczególnych obiektów, jak również z terminu opracowania projektu. Jedną z pierwszych, której projekt modernizacji wykonano w RAFAKO, była instalacja paleniskowa kotła OP – 430 nr 14 w EC Siekierki. Modernizacja obejmowała ograniczony zakres zmian ze względu na krótki postój remontowy kotła. Modernizacja instalacji paleniskowej kotła OP–130 nr 6 w EC Łódź przewidywała już zmiany palnika. Bardziej kompleksowo zmodernizowano instalacje paleniskowe kotłów EP–650 nr 4, 5 i 6 w El. Połaniec.



Rys. 1. Zakres emisji NO_x z kotła OP–430 nr 14 EC Siekierki w funkcji zawartości O_2 w spalinach za podgrzewaczem wody

Fig. 1. Range of NO_x emission as a function of O_2 concentration in flue gases down steam of economiser of boiler OP–430 N° 14 in Siekierki CHP

Różne zakresy modernizacji przedstawionych obiektów rzutowały na otrzymane wyniki. Dały jednak wiele ciekawych informacji, z których można korzystać przy opracowywaniu kolejnych modernizacji.

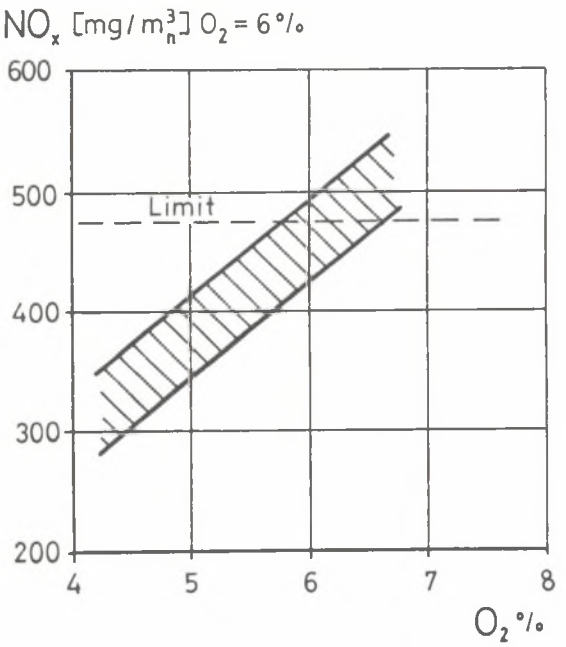
2. WYNIKI OPTYMALIZACJI PRACY INSTALACJI PALENISKOWYCH

Kocioł OP–430 nr 14 w EC Siekierki

Modernizacja instalacji paleniskowej tego kotła była jedną z pierwszych – autorstwa RAFAKO – wdrożonych w praktyce. Zastosowano 4 dysze OFA z pomiarem natężenia przepływu powietrza. Palniki pyłowe pozostawiono bez zmian. Przeprowadzono modernizację młynów MKM–25 w celu poprawy jakości przemiału węgla. Wyniki optymalizacji przedstawiono na wykresie rys. 1. Najniższą emisję osiągnięto na poziomie około 600 mg/m$_n^3$ przy dopuszczalnej zawartości części palnych w żużlu i popiele oraz zawartości CO w spalinach od 35 – 91 mg/m$_n^3$. Osiągnięta emisja jest wyższa od granicy obowiązującej po 1997 roku. Jednakże już w projekcie modernizacji, ze względu na „uboższy" zakres zmian, nie gwarantowano większego stopnia redukcji.

Kocioł OP–130 nr 6 w EC Łódź 2

Zakres modernizacji instalacji paleniskowej, oprócz zabudowy dysz OFA, obejmował także modernizację palników pyłowych. Zastosowano pomiary natężenia przepływu powietrza wtórnego do naroży oraz do dysz OFA. Nie wykonano modernizacji młynów wentylatorowych, co rzutowało na dużą zawartość części palnych w żużlu ($C_ż$ = 8,7 ÷ 25%) oraz popiele (C_{pop} = 5,7 ÷ 2,6%). Poziom emisji NO_x był poniżej granicy obowiązującej po 1997 roku (rys. 2), zaś zawartość CO w spalinach była na poziomie 46 ÷ 127 mg/m$_n^3$.



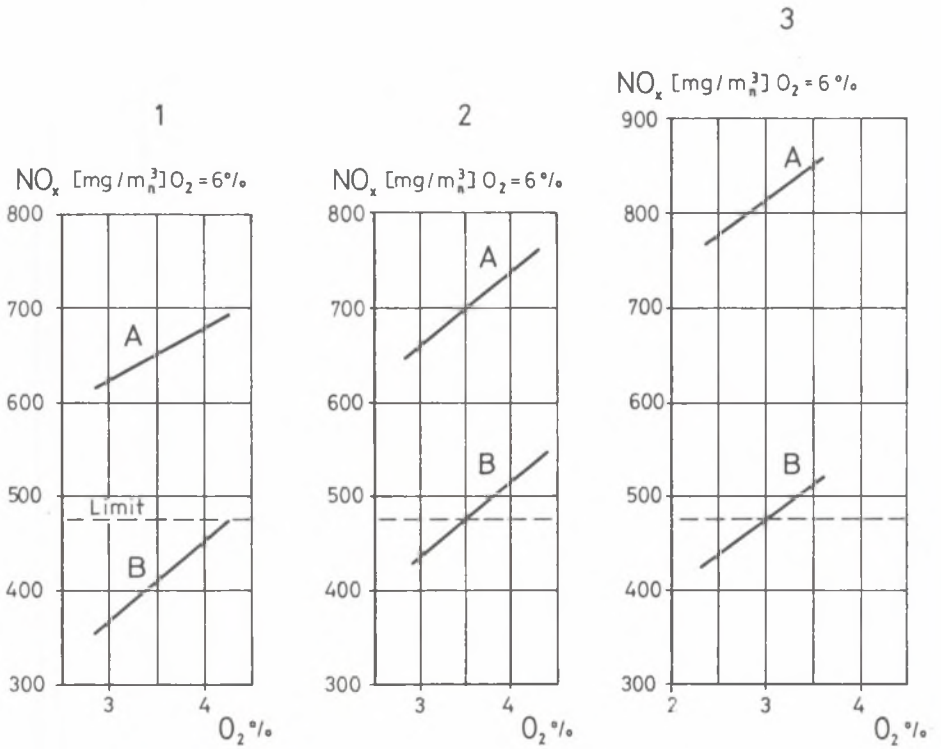
Rys. 2. Zakres emisji NO_x z kotła OP–130 nr 6 EC Łódź 2 w funkcji zawartości O_2 w spalinach za podgrzewaczem wody

Fig. 2. Range of NO_x emission as a function of O_2 concentration in flue gases down steam of economiser of boiler OP–130 N° 6 in Łódź 2 CHP

Kotły EP–650 nr 4, 5 i 6 w El Połaniec

W instalacji zastosowano dysze OFA i pomiary natężenia przepływu powietrza do dysz oraz powietrza do

dwu sekcji palników w narożnikach kotła. Instalację wyposażono w niezbędną ilość klap regulacyjnych. Założono, że duża objętość komory paleniskowej oraz podział palnika pyłowego na dwie sekcje: górną i dolną będą sprzyjać redukcji NO_x w takim stopniu, iż modernizacja samego palnika nie będzie konieczna. Zmiany w samym palniku przewidziano w przypadku niewystarczającej redukcji. Przed optymalizacją wyrównano rozdział pyłu do poszczególnych dysz w palnikach narożnikowych dla każdego młyna (tolerancja ±10%) oraz poprawiono przemiał młynów. Jakość przemiału była zbliżona do wymaganych



Rys. 3. Średnia emisja NO_x z kotłów EP – 650 El. Połaniec: 1 – kocioł nr 4; 2 – kocioł nr 5; 3 – kocioł nr 6; A – emisja bazowa przed optymalizacją; B – emisja po optymalizacji

Fig. 3. Average NO_x emission from boilers EP–650 in Polaniec power plant: 1 – boiler N° 4; 2 – boiler N° 5; 3 – boiler N° 6, A – basic emission without optimisation; B – emission after optimisation

przez RAFAKO wartości pozostałości na sicie R_{90} = 20% i R_{200} = 2%. Optymalizacja pracy instalacji wykazała, że wykonany zakres modenizacji (bez palników pyłowych) pozwala na redukcję emisji na wszystkich trzech kotłach poniżej wartości dopuszczalnej po 1997 roku (rys. 3). Zawartość części palnych w żużlu i popiele dla kotłów nr 4, 5 i 6 nie przekraczała 4%, zaś zawartość CO w spalinach wahała się w granicach 10 ÷ 40 mg/m_n^3, a chwilowe wartości nie przekraczały 1000 mg/m_n^3.

3. ZAGADNIENIA ZWIĄZANE Z PRAWIDŁOWĄ PRACĄ KOTŁA WYPOSAŻONEGO W INSTALACJĘ ZMNIEJSZAJĄCĄ EMISJĘ NO_x

Prace optymalizacyjne wykazały, że na pracę instalacji paleniskowych, modernizowanych w celu redukcji emisji tlenków azotu, wpływa wiele elementów kotła i urządzeń pomocniczych. Ograniczenie modernizacji jedynie do zmian w palnikach oraz układzie zasilającym palenisko w powietrze może być niewystarczające do zapewnienia poprawnej pracy kotła.

Młyny. Modernizacja młynów węglowych winna być nieodłącznym elementem modernizacji instalacji paleniskowej. Zmniejszenie wentylacji daje minimalizację powietrza w fazie zapłonu części lotnych, co wpływa na ograniczenie tworzenia się tlenków azotu. Poprawa stopnia przemiału węgla powoduje, że części palne w żużlu i popiele mieszczą się w dopuszczalnych granicach. Przy czym doświadczenie wykazuje, że jakość przemiału R_{90} = 20 ÷ 25% oraz R_{200} ≤ 2,5% jest wystarczająca. Brak polepszenia przemiału młynów kotła nr 6 w El. Łódź 2 był przyczyną wysokich zawartości części palnych w zużlu i popiele. Wyrównanie rozdziału pyłu na poszczególne dysze palników jest ważnym elementem, od którego zależy efekt redukcji emisji NO_x. Równomierny rozdział pyłu pozwala na utrzymywanie w palniku odpowiedniego stosunku paliwo–powietrze.

Pomiary. Zastosowanie instalacji paleniskowej redukującej emisję NO_x bez stacjonarnego ciągłego pomiaru zawartości tlenków azotu w spalinach jest działaniem nieracjonalnym. Kontrola zawartości NO_x analizatorem przenośnym może być rozwiązaniem doraźnym, ale nie docelowym. Tylko ciągły pomiar emisji NO_x ze wskaźnikami na nastawni pozwala na jej minimalizację poprzez odpowiednie sterowanie kotłem. Ten fakt znalazł zrozumienie w El. Połaniec, gdzie pracuje ciągły pomiar przy kotle nr 4, a w następnych stacjonarne analizatory spalin będą instalowane. W EC Siekierki zamontowano analizator określający zawartość w spalinach tylko NO_x. Nie znając zawartości O_2 w miejscu pomiaru NO_x, trudno otrzymane wyniki odnosić do porównywalnego poziomu dla węgla kamiennego (O_2 = 6%). Bardzo ważnym pomiarem, decydującym o efektywnej pracy instalacji redukującej NO_x, jest pomiar O_2 sytuowany zwykle za podgrzewaczem wody. Pomiary O_2 wykonywane w

różnych punktach na szerokości kanału dają wyniki różniące się w znacznym stopniu oraz wykazują zmiany wartości O_2 w czasie. Problem ten występuje w wielu elektrowniach i wymaga rozwiązania.

Kolejnym ważnym zagadnieniem jest ilość i jakość pomiarów natężenia przepływu powietrza w instalacji. Ilość tych pomiarów, zastosowana w instalacji kotła EP–650 El Połaniec, wydaje się być optymalna. Na optymalizowanych obiektach zastosowano pomiar za pomocą zwężek (EC Siekierki), annubar (El. Połaniec) i kryz progowych (EC Łódź). Tudno w sposób jednoznaczny ocenić, który system pomiarowy jest najlepszy. Sprawdzenie zwężek i annubar, wykonane poprzez siatkowy pomiar prędkości, dało wartości natężeń przepływu różniące się od wskazań ruchowych, zaś kryzy progowe dawały bardzo małe spadki ciśnień. Być może, że planowane w El. Połaniec w końcowej fazie remontu kotła nr 1 testowanie wszystkich annubar pozwoli na lepszą ocenę tego sposobu pomiaru.

Dysze OFA, klapy i kanały. We wszystkich obiektach zastosowano konstrukcję dysz OFA pozwalającą na pochylenie końcówek w płaszczyźnie pionowej oraz odchylanie w płaszczyźnie poziomej. Przyjęte rozwiązania generalnie sprawdziły się w praktyce, natomiast zmian wymagają szczegóły, np. zastosowanie materiału żaroodpornego na elementy mechanizmu przemieszczającego końcówki i na część obudowy, rozwiązanie chłodzenia zewnętrznych powierzchni końcówek dysz itp. Najwygodniejszy w praktyce okazał się system pokręteł przestawiania dysz wykonany dla EC Łódź 2.

Optymalizacje wykazały, że ustawienie dysz w pionie ma większy wpływ na poziom emisji NO_x niż odchylanie w płaszczyźnie poziomej na różne koła wiru.

Klapy regulacyjne zabudowane na optymalizowanych obiektach mają złe charakterystyki. Problem ten nie jest nowy, ale nie został jeszcze rozwiązany. Lepsze charakterystyki klap wiążą się ze wzrostem oporów, lecz jest to koszt, jaki musi być poniesiony, jeśli instalacja paleniskowa ma skutecznie redukować emisję NO_x.

Instalacje gorącego powietrza pracują zwykle z nadciśnieniem, bo tylko w ten sposób można sterować rozdziałem strumieni. W El. Połaniec wynosiło ono około 1600 Pa, w EC Siekierki – 900 Pa, a w EC Łódź 2 – 600 ÷ 900 Pa. Wymaga to przyjęcia nowych zasad projektowania kanałów gorącego powietrza. Należy ustalić nowe wytyczne odnośnie do żebrowania wzmacniającego, konstrukcji oraz uszczelnienia włazów i klap.

Obrotowe podgrzewacze powietrza. Praca instalacji gorącego powietrza z wysokim nadciśnieniem powoduje konieczność poprawy działania uszczelnień. Dotychczasowe rozwiązania powodują znaczną „ucieczkę" powietrza do spalin na skutek zwiększenia różnicy ciśnień. Modernizacja uszczelnień obrotowych podgrzewaczy powinna być integralną częścią instalacji redukującej emisję NO_x.

Wentylatory. Wymóg pracy instalacji gorącego powietrza z nadciśnieniem nie zawsze może być spełniony przez istniejące wentylatory powietrza. Występuje wtedy konieczność modernizacji tych wentylatorów. Zalecana praca kotła z mniejszym λ zwykle nie powoduje konieczności modernizacji wentylatorów spalin, pod warunkiem że zostaną poprawione uszczelnienia obrotowych podgrzewaczy i zmniejszone „przecieki" gorącego powietrza do spalin.

Żużlowanie. Działania ograniczające emisję NO_X sprzyjają występowaniu zjawiska żużlowania. W optymalizowanych obiektach nie miało ono charakteru utrudniającego w sposób zasadniczy eksploatację kotła. W El. Połaniec żużlowanie występowało w otoczeniu dysz OFA, tzn. pomiędzy ruchomymi końcówkami dysz a odgięciami rur ekranowych. Zależny żużla początkowo utrudniały, a potem uniemożliwiały przestawianie położenia końcówek dysz. Szczególnie niebezpiecznym zjawiskiem dla dysz było dopalanie się koksiku zawartego w żużlu. Dopalanie było tak intensywne, że doprowadziło do zniszczenia obudów na kilku dyszach. Zmiany konstrukcyjne dysz OFA zaproponowane przez RAFAKO powinny zapobiec osadzaniu się żużla.

Przy projektowaniu nowych instalacji należy dążyć do tego, aby odgięcia ekranów zostawiały minimalną szczelinę między dyszą a rurami.

Nie da się wykluczyć w przyszłości konieczności ponownej zabudowy i stosowania zdmuchiwaczy popiołu w komorze paleniskowej.

Korozja ekranów. Praca kotła z niskim nadmiarem powietrza powoduje, że w pasie palnikowym komory paleniskowej występują znaczne ilości CO, które w połączeniu z wysoką temperaturą panującą w tym rejonie stwarzają warunki sprzyjające występowaniu korozji metalu rur ekranowych.

Kocioł nr 4 w El. Połaniec został wyposażony w instalację tzw. powietrza ściennego, która rozprowadza powietrze do 32 dysz (po 8 na każdej ścianie) rozmieszczonych w obrębie pasa palnikowego. Powietrze ścienne ma zadanie chronić ekrany przed ewentualną korozją. Kotły nr 5 i 6 nie mają takiej instalacji, choć jest ona łatwa do zamontowania. Brak wiarygodnych informacji na temat skuteczności tej instalacji był przyczyną decyzji o wstrzymaniu jej zabudowy.

Problem korozji ekranów skutkiem stosowania spalania przy zaniżonym λ nie jest całkowicie wyjaśniony. Jednym z powodów jest fakt, że mamy do czynienia z procesem długotrwałym. Działania krajowe ograniczają się jedynie do pomiarów składu spalin w warstwie przyściennej pasa palnikowego. Nawet dla tego przypadku nie ustalono jednolitego sposobu pomiaru.

W kotle nr 4 El. Połaniec zmierzono skład spalin w sąsiedztwie palników, wykorzystując do tego istniejące wzierniki. W celu wyeliminowania wpływu nieszczelności wziernika sondę wsuwano na około 0,5 m w głąb komory. Pomiary wykonane przez dwanaście wzierników, rozmieszczonych powyżej najwyższej dyszy pyłowej (3 sztuki), w środku (7 sztuk) oraz nieco poniżej najniższej dyszy (2 sztuki), dały następujące wyniki:

- temperatura spalin od 760°C (poniżej palnika) do 1270°C (powyżej palnika),
- zawartość O_2 od 6% do 17%,
- zawartość CO od 150 do 6000 mg/m_n^3.

Kocioł nr 5 El. Połaniec wyposażono w króćce przechodzące przez płetwy ścian membranowych umożliwiające pomiar w pobliżu ekranu. Sondę wsuwano na głębokość lica rur ekranowych. Ze względu na niewystarczający zakres przyrządu pomiar ograniczono jedynie do ściany przedniej, gdzie zamontowano 10 króćców pomiarowych. Otrzymano następujące wyniki:

- temperatura spalin od 700°C do 1080°C,
- zawartość O_2 od 4% do 12%,
- zawartość CO od 200 do 4800 mg/m_n^3.

Analiza spalin w warstwie przyściennej jest zaledwie pierwszym elementem do wyjaśnienia zagadnienia ewentualnego występowania korozji. Pytania: czy i jaki skład spalin, w jakich warunkach, w jakim czasie i w jakim stopniu wpływają na proces korozji metalu rur – czekają na odpowiedź.

Automatyka. Zmiany zachodzące w czasie ruchu instalacji paleniskowej kotła znacząco wpływają na zawartość NO_x w spalinach. Przełączenie młynów, zmiana obciążenia, wahania jakości paliwa mogą zmienić, ustawiony uprzednio, optymalny sposób rozdziału powietrza. Dlatego niezbędna jest automatyczna regulacja parametrów mających wpływ na tworzenie się NO_x. W El. Połaniec podjęto prace mające na celu uruchomienie automatyki spalania w taki sposób, aby emisja NO_x była dla każdej sytuacji ruchowej minimalna. Jest to zadanie trudne ze względu na konieczność rozwiązania wielu zagadnień, takich jak: wiarygodne pomiary (NO_x, CO, O_2), rozdział i regulacja ilości pyłu i powietrza, uwzględnienie jakości przemiału węgla i konfiguracji pracujących młynów.

Równocześnie należy zachować kryteria ograniczające ingerencję automatyki, takie jak:

- minimalna zawartość O_2 (λ),
- maksymalna zawartość CO,
- dopuszczalna zawartość części palnych w popiele i żużlu,
- dopuszczalne granice zmiany rozdziału powietrza.

Wykonane prace optymalizacyjne w El. Połaniec pozwoliły na wyznaczenie niektórych wielkości umożliwiających pracę automatyki NO_x w ograniczonym zakresie. Realizacja automatycznej regulacji spalania minimalizującej zawartość NO_x w spalinach w każdych warunkach ruchowych wymaga przeprowadzenia badań i wielu prób na obiekcie.

4. PODSUMOWANIE

Modernizacja instalacji paleniskowych celem redukcji emisji NO_x, często potocznie nazywana „instalowaniem palników niskoemisyjnych", powinna być przeprowadzona z uwzględnieniem istniejących wzajemnych powiązań technicznych i technologicznych dotyczących prawie wszystkich elementów kotła i urządzeń pomocniczych.

Podejmowanie decyzji modernizacyjnych powinno być oparte na analizie pracy oraz stanu technicznego kotła i jego urządzeń pomocniczych. Wszelkie odstępstwa od tej zasady prowadzą do występowania – czasem poważnych – problemów eksploatacyjnych.

LITERATURA

[1] Wróblewska V.: Warunki powstawania i redukcji tlenków azotu w kotłach energetycznych. Energetyka 1989, nr 3 (Biuletyn IEn).

[2] Golec T., Bogucki B., Wróblewska V.: Analiza numeryczna pracy komory paleniskowej kotła OP-650 w El. Dolna Odra z palnikami zmniejszającymi emisję NO_2. Energetyka 1991, nr 1 (Biuletyn IEn).

[3] Bogucki B., Wróblewska V.: Możliwości zmniejszenia emisji tlenków azotu z kotłów OP-650 w Elektrowni Dolna Odra. Energetyka 1992, nr 12 (Biuletyn IEn).

[4] Bogucki B.: Modernizacja instalacji paleniskowej kotła EP-650 w Elektrowni Połaniec w celu obniżenia emisji NO_x. Energetyka 1993, nr 8, s. 259 ÷ 262.

Recenzent: Dr hab. inż. Marek PRONOBIS

Wpłynęło do Redakcji 28.08.1994 r.

Abstract

The paper presents the results of optimizations which have been carried out on furnace installations of boilers in power plants Połaniec, Siekierki and Łódź 2. The aim of the work was a decrasing of NO_x emission from above mentioned pulverized black coal – fired steam generators. The first reconstruction has been carried out in the boiler OP–430 power plant Siekierki consisted in the introduction of OFA ports and improvement of the

coal fineness degree. The NO_x level was ca. 600 mg/m_n^3 and does not meet the requirements which will come into force after 1997.

Next modernizations carried out in Łódź 2 and Połaniec plants resulted in satisfactory reduction NO_x and combustion quality. It has been found that the grinding quality with $R \cong 20–25\%$ and $R_{200} \leq 2,5\%$ is sufficient. Uniform distribution of air and fuel between the burners as well as appropriate air excess in the burners are indispensable conditions to assure stable ignition and minimize unburned combustible losses by Low–NO_x combustion.

The paper describes the problems effected proper operation of steam generators with Low–NO_x furnace as well as the measures of the work of auxilliary equipment in order to avoid slagging and corrosion of furnace side walls.