

<https://doi.org/10.3176/oil.1991.4.09>

UDC 621 : 662.612

*V. SIDORKIN, A. KNIGA, N. RAKITINA***THE OPPORTUNITY OF NO<sub>x</sub> EMISSIONS REDUCTION  
FOR THE PULVERIZED OIL SHALE FIRED BOILERS***В. Т. СИДОРКИН, А. А. КНИГА, Н. И. РАКИТИНА***ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА  
НА ПЫЛЕСЛАНЦЕВЫХ КОТЛАХ**

Fly ash, nitrogen and sulphur oxides are the general pollutants of ambient air when oil shale is fired in power plants. Experimental data on NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> contents in boiler exhaust [1, 2] indicate that the emissions are considerably higher than the standards [3] accepted by the most of European countries, USA, and Japan, as well as those, our country is going to keep to. The most acute problem is the high sulphur oxides content in flue gas. Following the standards SO<sub>2</sub> concentrations are to be reduced from 1.6—1.7 to 0.2—0.4 g/m<sup>3</sup>. However, it is also important to reduce NO<sub>x</sub> concentrations in oil shale fired boiler exhaust. The NO<sub>x</sub> level may be up to 0.42 g/m<sup>3</sup> according to the data given in [1] and about 0.28—0.38 g/m<sup>3</sup> according to [2], and it must be reduced to 0.15—0.20 g/m<sup>3</sup>. As to sulphur oxides, there are obvious advantages of the methods using more completely the potentialities of shale ash calcium compounds to bind sulphur oxides. The selection of NO<sub>x</sub> reducing technology in flue gases of oil shale fired boilers is not so evident and unambiguous.

Most frequently combustion modifications such as fuel-rich combustion, staggered burning, recirculation of flue gas in burners or combustion zone, water injection, special burners with low NO<sub>x</sub> yield and others [4] are used for reducing the content of NO<sub>x</sub>. These methods are more effective for gas/oil fired units and, as a rule, are not applied for coal fired boilers. In particular, recirculation of flue gas in burners is practically not used in coal fired boilers, mainly because of deterioration of fuel ignition and burnout conditions, though it makes possible to affect NO<sub>x</sub> formation by lowering operative oxygen concentration as well as flame core temperature.

In our opinion the high reactivity of Estonian oil shale dust let hope that the flue gas recirculation in boiler's burners takes place without considerable ignition and burnout deterioration, while NO<sub>x</sub> formation can be affected essentially. The experimental data presented below can be of interest by further investigation of this supposition and partly confirm the correctness of it. These results have been obtained from tests that were carried out at the coal-fired pilot facility of Energy Institute at the Kohtla-Järve power station. The fuel used was a mixture of pulverized Estonian oil shale and low-grade Donetsk anthracitous duff. The choice of this fuel composition was conditioned by the test objectives. One of them was stabilizing the ignition of low reactivity

anthracituous duff and it was achieved combusting together oil shale and anthracite. Firing was carried out in direct-flow combustor with a belt staggered tube bank shown in Fig. 1. Fuel/air mixture and heated secondary air, mixed completely in straight-line zone, are fed into combustion chamber through the annular slot. Stabilization of annular jet ignition is guaranteed by the forechamber geometry, which creates the required aerodynamics and determines the recirculation of combustion products to the flame root. Intensive after-burning of combustible residues takes place in the second part of combustor on the belts of slag screen tube bank. Then flue gas enters the duct and leaves through the stack.

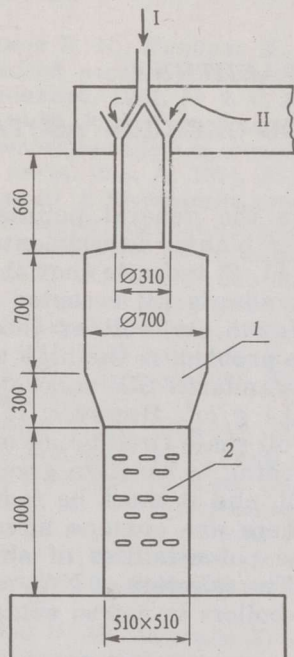


Fig. 1. Design of direct-flow combustor with a belt staggered tube bank. Legends: 1 — forechamber, 2 — staggered tube bank section; I — pulverized fuel/air mixture, II — secondary air

Рис. 1. Конструкция прямоточного предтопка с ленточной насадкой. Условные обозначения: 1 — форкамера, 2 — секция насадки; I — пылевоздушная смесь, II — вторичный воздух

There are some peculiarities of the secondary blowing preparation system. An oil supply system is available to heat the oxidizing mixture by burning oil in the oxidant stream. Oxygen content is regulated by additional gaseous oxygen supply. Thus, the blowing preheating temperature can be varied from ambient air one to 700—800 °C and O<sub>2</sub>-enrichment — from 21 to 100 %. If supplementary oxygen amount supplied is less than needed for oil burning, the O<sub>2</sub> content of blowing may be less than 21 %. In the same way, regimes with lowered O<sub>2</sub> concentrations simulating flue gas recirculation in the burner have been modelled. If oxygen content in blowing was 15—16 %, the degree of recirculation might be evaluated at 23—25 %.

The main characteristics of regimes:

combustor heat output	4.2—5.1 MWt
share of oil shale of total heat input	40 %
blowing temperature	570—580 °C
oxygen content in the blowing	15.4—22.2 % (vol.)
oxygen excess coefficient (stoichiometric ratio)	1.05—1.26

Average characteristics of oil shale dust:  $W^r = 0.54\%$ ,  $A^r = 49.37\%$ ,  $(CO_2)_M^r = 24.4\%$ ,  $S_{S+O}^r = 1.78\%$ ,  $Q_i^r = 2061$  kcal/kg; anthracitous duff:  $W^r = 3.7\%$ ,  $A^r = 30.15\%$ ,  $S_{S+O}^r = 2.33\%$ ,  $Q_i^r = 4950$  kcal/kg. There was rather coarse grinding:  $R_{90} = 35-40\%$  (limited by pulverizer potentialities).

NO<sub>x</sub> concentrations were measured in gas duct after combustor at temperature 600–700 °C. Measurements were carried through on chemiluminescent NO/NO<sub>x</sub> analyzer 344 XЛ-01, using the method with nitrate-selective electrode, and a modification of method with Griss reagent (device "Evdimetr-1"). In some cases multicomponent gas analyzer (BRD) "testo-33" was used.

Average results gained by different methods are corresponding sufficiently to one another. The spread in values does not exceed  $\pm 30\%$  and no systematic regularities of these deviations for different methods were observed.

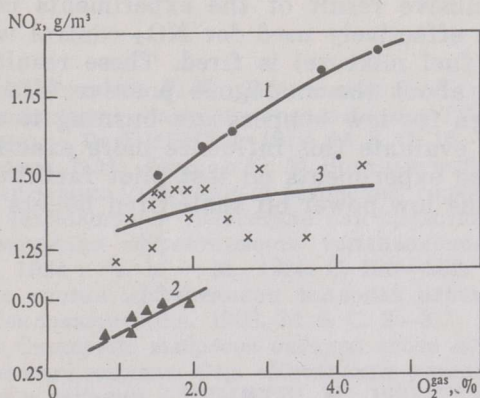


Fig. 2. Nitrogen oxides concentrations in flue gases of different burning regimes: 1 — anthracitous duff (AD) + oil shale (blowing:  $O_2^b = 22\%$ ,  $t^b = 590^\circ\text{C}$ ); 2 — AD + oil shale ( $O_2^b = 15.8\%$ ,  $t^b = 580^\circ\text{C}$ ); 3 — AD + fuel oil ( $O_2^b = 21\%$ ,  $t^b = 440-480^\circ\text{C}$ )

Рис. 2. Концентрация оксидов азота в дымовых газах при различных режимах сжигания: 1 — антрацитовый штыб (АШ) + сланец-кукерсит ( $O_2^b 22\%$ ,  $t^b 590^\circ\text{C}$ ); 2 — АШ + сланец ( $O_2^b 15.8\%$ ,  $t^b 580^\circ\text{C}$ ); 3 — АШ + мазут ( $O_2^b 21\%$ ,  $t^b 440-480^\circ\text{C}$ )

Measured NO<sub>x</sub> concentrations are shown in Fig. 2. The upper curve summarizes the data obtained in air-blowing regimes. The bottom one corresponds to regimes with lowered oxygen content in blowing, that simulated flue gas recirculation in a burner (as it was mentioned above). Comparison of these curves shows the second method of burning to be effective for NO<sub>x</sub> reducing. When there was lowered oxygen content in the blowing, NO<sub>x</sub> concentrations recalculated to flue gases into accordance with  $\alpha = 1.4$  were 0.28–0.40 g/m<sup>3</sup>. Thus, NO<sub>x</sub> level had dropped three times approximately. This is the best result for commercial boilers, in which recirculation has been applied [5]. In our tests some conditions in which recirculation is most effective were used: high temperature in the centre of flame, stoichiometric ratio close to 1.0, ideal premixing of recirculated gases, second blowing, and air/fuel mixture (modelling of the mixing).

Besides the above-said, analysis of the data obtained allows to draw conclusions about replacing fuel oil usually used for stabilizing anthracite ignition by high reactivity solid fuel such as Estonian oil shale.

Experiments carried out have given promising results of such firing technology. NO<sub>x</sub> concentrations obtained both by anthracites/oil mixture and oil shale/anthracite mixture burning with air blowing are rather high, as it is shown in Fig. 2 (curves 1 and 2). They are considerably higher than in low temperature oil shale-fired boilers — 0.42 g/m<sup>3</sup>, but on the same level with those in anthracite-fired boilers with wet slag removal. The cause of high NO<sub>x</sub> concentrations is first of all the high temperature of blowing preheating — 440—580 °C, which is necessary for wet slag removal. The level of NO<sub>x</sub> emissions can be essentially reduced, if using the possibilities of recirculation pointed out.

It is also necessary to mention that the data obtained on the possibilities of ecological solution of NO<sub>x</sub> emissions by the high temperature firing show the process of Portland cement clinker obtaining from a new point of view. As is known [6], this process can be based on high temperature oil shale combustion with wet slag removal.

So, the most conclusive result of the experiments is that flue gas recirculation may be effectively used for NO<sub>x</sub> control when high reactivity solid fuel (or fuel mixture) is fired. These results allow a supposition to be made about the analogous positive effect on oil shale-fired boilers, although for low temperature burning it will possibly be less considerable. To evaluate this influence more exactly, it should be useful to continue the experiments on test pilot facilities and to carry out tests on one of the low power oil shale-fired boilers in action.

## РЕЗЮМЕ

Содержание оксидов азота в уходящих газах пылесланцевых котлов, по данным разных авторов, доходит до 0,38 и даже до 0,42 г/м<sup>3</sup>. По сравнению с соответствующим показателем для действующих пылеугольных котлов этот уровень можно считать умеренным, но тем не менее он превосходит принятое в большинстве развитых стран нормы предельно допустимых выбросов, составляющие в среднем 0,2 г/м<sup>3</sup>. Очевидно, что проблема уменьшения концентрации оксидов азота в уходящих газах пылесланцевых котлов не столь остра, как задача снижения концентрации диоксида серы, однако она ждет своего решения.

Среди известных технологических методов, обеспечивающих подавление образования оксидов азота, одним из наиболее эффективных является рециркуляция дымовых газов непосредственно в горелки. Однако на пылеугольных котлах она применяется редко, поскольку приводит к ухудшению воспламенения и выгорания топлива. В то же время, поскольку пыль эстонского горючего сланца-кукерсита имеет высокую реакционную способность ( $V^{daf} \sim 85\%$ ), можно ожидать, что использование рециркуляции на пылесланцевых котлах не будет приводить к названным выше негативным последствиям, при том что подавление образования оксидов будет иметь место.

Эти предположения подтверждаются экспериментами, проведенными на опытно-промышленной установке, оборудованной прямоточным предтопком с ленточной насадкой (рис. 1). В качестве топлива использовали смесь эстонского сланцакукерсита и донецкого антрацитового штыба в соотношении по удельной теплоте сгорания соответственно 40 : 60. Такой выбор топлива был определен поставленными задачами, среди которых наряду с экологическими была и задача стабилизировать воспламенение низкорекреакционного антрацитового штыба. Обычно используемый для подсветки мазут был заменен высокорекреакционным твердым топливом — кукерситом. Тепловая мощность предтопка доходила до 5 МВт, температура дутья — до 580 °C, имел место высокотемпературный режим с жидким шлакоудалением.

Значения концентраций оксидов азота представлены на рис. 2.

Верхняя кривая обобщает данные, полученные при режимах с воздушным дутьем, нижняя — при режимах с пониженным содержанием кислорода в дутье, то есть на режимах, которые моделируют рециркуляцию дымовых газов непосредственно в горелку.

Сравнение этих двух кривых указывает на высокую эффективность второго способа сжигания: при 25 % ной рециркуляции снижение концентрации оксидов азота оказалось почти трехкратным. Достигнутый минимум концентрации составил 0,28—0,40 г/м<sup>3</sup> (значения приведены к объему газов, соответствующему  $\alpha \approx 1,4$ ). В экспериментах был соблюден ряд условий, которые обеспечивали максимальную эффективность влияния рециркуляции.

Есть все основания ожидать аналогичного эффекта и при работе пылесланцевых котлов, хотя не исключено, что при низкотемпературном сжигании влияние рециркуляции будет более умеренным. Уточнить это позволили бы эксперименты на какомлибо действующем пылесланцевом котле малой мощности.

## REFERENCES

1. Сидоркин В. Т., Талумаа Р. Ю., Погепалова И. П. и др. Выбросы вредных веществ при сжигании сланца в парогенераторе ТП-101 Эстонской ГРЭС // Горючие сланцы / ЭстНИИТИ. 1979. № 3. С. 16—20.
2. Отс А. А., Егоров Д. М., Лоосаар Ю. М. Вредные выбросы тепловых электростанций, сжигающих пылевидный эстонский горючий сланец // Мало- и безотходные технологии в энергетике как средства защиты окружающей среды и повышения эффективности топливоиспользования: Мат. Всесоюз. совещ., 1984 г. Ч. 1. — М., 1985. С. 198—202.
3. Экологически чистая эффективная тепловая электростанция на твердом топливе // Теплоэнергетика. 1988. № 6. С. 2—3.
4. Коглер В. Р. Снижение выбросов оксидов азота котлами ТЭС при сжигании органического топлива. Сер. «Котельные установки и водоподготовка» (Итоги науки и техники / ВИНТИ). М., 1987. Т. 7.
5. Сигал И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. 2-е изд., перераб. и доп. — М.; Л., 1988.
6. Эник И. П. Использование горючих сланцев и их золы при обжиге портландцементного клинкера // Горючие сланцы. 1990. Т. 7, № 3—4. С. 333—342.

*Presented by A. Ots  
Received 19.04.91*

*G. M. Krzhizhanovsky Research  
Power Institute  
Moscow*

*Institute Experimental Base  
at Kohila-Järve Power Plant  
Kohila-Järve*

*Государственный научно-исследовательский  
энергетический институт (ЭНИИ)  
им. Г. М. Кржижановского  
г. Москва*

*Экспериментальная база института  
при Кохтла-Ярвской ТЭЦ  
г. Кохтла-Ярве*

*Представил А. А. Отс  
Поступила в редакцию  
19.04.91*