

### Изследване на $\text{NO}_x$ емисии при изгаряне на Български лигнитни въглища в "кипящ слой"

доц.д-р инж. Б.Бонев, доц.д-р инж. Т. Тотев, инж. Вл. Станоев, А. Велкова, С. Бързилова  
ТУ-София, катедра "ТЯЕ"

**Резюме:** На база проведен експеримент при изгаряне на лигнитни въглища от басейна "Марица Изток" в "кипящ слой" е направен анализ на влиянието на различни горивни параметри (диаметър на въглищните частици; температура на слоя; пепелно съдържание на въглищните частици; кислородно съдържание във флуидизиращия агент) върху  $\text{NO}_x$  емисии.

### Research of the $\text{NO}_x$ emissions at the fluidized bed combustion of the Bulgarian lignite coal

Eng. B.Bonev PhD, Eng. T.Totev PhD, Eng.Vl.Stanoev, A.Velkova, S.Barzilova  
TU-Sofia, Thermal and Nuclear Power Department

**Abstract:** On the basis of carried out experiment at the fluidized bed combustion of the lignite coal from the "Maritsa East" basin is made analysis of influence of the various combustion parameters (diameter of the coal particles; temperature of the fluidized bed; ash content of the coal particles; oxygen content in the fluidizing agent) on the  $\text{NO}_x$  emissions.

#### Теоретична постановка

Основните окиси на азота, отделени по време на горенето на изкопаеми горива (въглища), са азотния окис ( $\text{NO}$ ), азотния диоксид ( $\text{NO}_2$ ) и азотистия окис ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Първите два от тях формират смес, известна като  $\text{NO}_x$ , която се състои повече от 90 % от  $\text{NO}$  (в основните типове големи горивни инсталации).

Формирането на  $\text{NO}_x$  се извършва чрез три основни механизма, характеризиращи се чрез произхода на азота и заобикалящата среда, където реакциите се състоят:

- > термичен  $\text{NO}_x$  - произлиза от реакцията между кислорода и азота от въздуха
- > горивен  $\text{NO}_x$  - формира се от азота, съдържащ се в горивото

- незабавен  $\text{NO}_x$  - формира се от превръщането на молекулния азот във фронта на пламъка, в присъствието на междинни въглеродородни съединения.

При изгарянето в "кипящ слой" имаме нискотемпературно горене и границите на изменение на температурата са обикновено в диапазона  $750\pm 950$  °C. При такива температури формирането на термичните и незабавни  $\text{NO}_x$  е малко от 5% от общо отделените  $\text{NO}_x$  и са от второстепенно значение.

Горивните  $\text{NO}_x$  произлизат от окислението на азотните съединения химически свързани в горивото.

По време на отделянето на летливите вещества горивния азот се преобразува в две части: летлив азот (главно HCN и  $\text{NH}_3$ ) и азот в пределите на кокса (коков азот). Относителното количество на освободения от въглицата летлив азот зависи от температурата на отделяне на летливите вещества, скоростта на нагряване и типа на въглицата.

Азотен окис се получава по време на горенето и на летливите вещества и на кокса. Едновременно с получаването на NO, в горивния процес може да протече редукция на NO до  $\text{N}_2$ . NO може да се редуцира чрез газ-твърди вещества реакции, газ-твърди вещества катализиращи реакции и хомогенни газо-фазови реакции.

При "кипящия слой" се прилагат два вида горивни условия: непланирани и планирани.

#### Експериментални резултати и анализи на $\text{NO}_x$ емисии при изгаряне на Български лигнитни въглища в "кипящ слой"

Експерименталната инсталация, условията и съдържанието на проведените експерименти са описани в [4,5].

Изследвани са влиянието на следните горивни параметри:

- влияние на размера на въглищните частици  $d_p$ , mm

От фиг.1 (за съответните горивни условия) се вижда, че с увеличаване на  $d_p$ ,  $\text{NO}_x$  емисии нарастват, като увеличението на пиковите точки на линиите описващи  $\text{NO}_x$  емисии е с около  $50 \text{ mg/nm}^3$  при  $d_p=2\pm 2.8$  mm в сравнение с  $d_p=1\pm 2$  mm, и около  $140 \text{ mg/nm}^3$  при  $d_p=2.8\pm 5.6$  mm. Също така от фиг.2, която изобразява общото количество на  $\text{NO}_x$  емисии (отделени при изгарянето на една партида въглища), ясно се очертава нарастването на  $\text{NO}_x$  емисии с увеличаването на  $d_p$  за различните горивни условия ( $T_b$ ,  $A^d$ , 21%  $\text{O}_2$  във флуидизиращия агент).

Същата тенденция се наблюдава и при 10%  $\text{O}_2$  във флуидизиращия агент.

- влияние на температурата на слоя  $T_b$ , °C

От анализа на фиг.2 се вижда, че с увеличаване на  $T_b$  (от 750 до 950 °C) имаме намаляване на общото количество  $\text{NO}_x$  емисии, което се дължи на по-усилените  $\text{NO}_x$  редукиционни реакции. При  $A^d=42\%$ ,  $d_p=1\pm 2$  mm, 21%  $\text{O}_2$  във

флуидизиращия агент, намаляването на общото количество  $\text{NO}_x$  емисии е с около 11% при  $T_b=850^\circ\text{C}$  в сравнение с  $T_b=750^\circ\text{C}$ , и с около 34% при  $T_b=950^\circ\text{C}$ .

- влияние на качеството на въглицата (изразено чрез  $A^d$ , %)

От фиг.3 (за съответните горивни условия) се вижда, че имаме намаляване на общото количество  $\text{NO}_x$  емисии, с увеличаване на  $A^d$ . Това се потвърждава и от изведените зависимости между азотното съдържание в горивото, пепелта и влагата за тези въглища.

- влияние на кислородното съдържание във флуидизиращия агент

От фиг.4 се вижда, че при 10%  $\text{O}_2$  имаме намаляване в пиковите точки на линиите описващи  $\text{NO}_x$  емисии с около  $100\text{ mg}/\text{nm}^3$  в сравнение с 21%  $\text{O}_2$  при идентични горивни условия. Но общото количество отделени  $\text{NO}_x$  емисии при 10%  $\text{O}_2$  за съответните горивни условия е по-голямо (фиг. 5).

От фиг.6, 7 се вижда, че с увеличаване на температурата (на  $850^\circ\text{C}$ ) при 10%  $\text{O}_2$ , общото количество отделени  $\text{NO}_x$  емисии значително намалява в сравнение с тези при  $750^\circ\text{C}$ . Намаление се наблюдава и при сравнение и с 21%  $\text{O}_2$  за съответните идентични горивни условия. При 10%  $\text{O}_2$  и  $d_p=1\pm 2\text{ m}$ ,  $A^d=29\%$ ,  $T_b=850^\circ\text{C}$  пиковата стойност на линията описваща  $\text{NO}_x$  емисии е около  $270\text{ mg}/\text{nm}^3$  (най-ниската стойност от всички получени резултати), т.е. при 10%  $\text{O}_2$  имаме условно планирани горивни условия.

От данни в литературата [1,2,3] към по-горе описаните анализи, може да се добави следното:

- свободното пространство е много ефективно средство за редуциране на  $\text{NO}_x$  емисии
- при добавянето на варовик за улавянето на  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  емисии се увеличават слабо
- в допълнение към увеличаването на горивния КПД, рециркулацията на летящата пепел е също начин за понижаване на  $\text{NO}_x$  емисии.

### Заклучение

Направен е анализ на влиянието на различните горивни параметри върху  $\text{NO}_x$  емисии, който е необходим и полезен при едно последващо моделиране на горенето в "кипящ слой" и при проектирането на промишлени реактори на "кипящ слой" за лигнитните въглища от басейна "Марица Изток". Изводите за най-добрите горивни условия подлежат на известно оптимизиране с цел намиране на оптимални горивни условия и за  $\text{SO}_2$  емисии. В заключение при прилагането на планирано горене, могат да се постигнат доста ниски стойности на  $\text{NO}_x$  емисии.

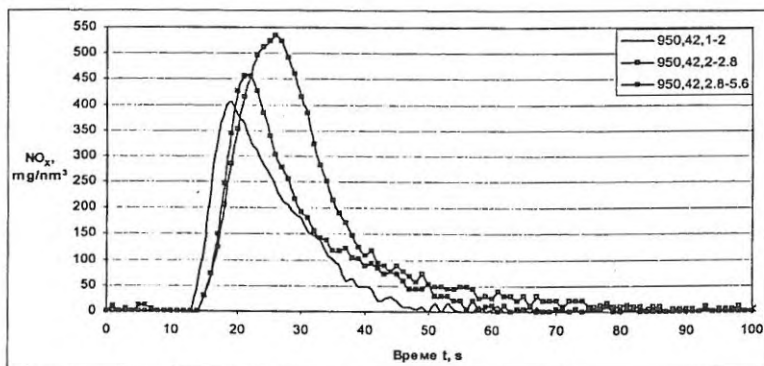
Номенклатура

- $A^d$  -пепелно съдържание на въглищните частици, %  
 $d_p$  -диаметър на въглищните частици в определен диапазон  
 ( $d_p \in (1+2\text{mm})$ ;  $d_p \in (2+2,8\text{mm})$ ;  $d_p \in (2,8+5,6\text{ mm})$ )  
 $T_b$  -температура на слоя, °C

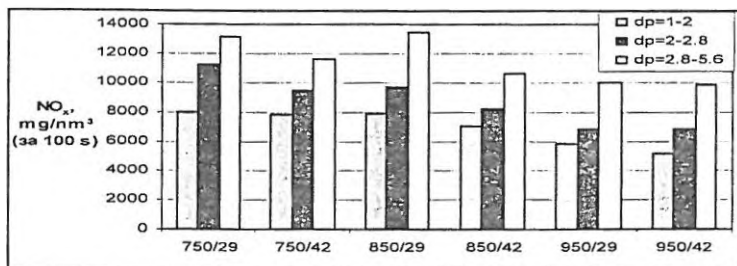
Използвана литература

- [1]. EUROPEAN COMMISSION, Integrated Pollution Prevention and Control, 2001  
 [2]. E.A.Bramer, Flue Gas Emissions from Fluidired Bed Combustion, AFBC, 1997  
 [3]. Howard, J.R., Fluidired bed technology-Principals and Applications, Bristol and New York, 1989  
 [4]. F.N.Fett, M.C.Wirsum, T.S.Weber, B.I.Bonev, T.I.Totev, Experimental Studies of the Bulgarian Lignite Coal Performance in the Fluidired Bed Combustion Couditions, International Conference "Energu Forum", Varna, June, 1997  
 [5] Bonev B., Totev T., Dzubinev K., Research combustion and gasification dynamics of the lignite coal from the "maritsa East" basin in the "fluidized bed". scientific conference EMF'97, Sozopol, september, 1997

доц.д-р инж.Б. Бонев, ТУ-София, катедра "ТЯЕ", тел.: 965 22 95  
 доц.д-р инж.Т. Тотев, ТУ-София, катедра "ТЯЕ", тел.: 965 22 53  
 маг.инж.Вл. Станоев, ТУ-София, катедра "ТЯЕ", тел.: 965 22 55, e-mail:  
 vstanoev@tu-sofia.bg  
 А. Велкова; С. Бързилова



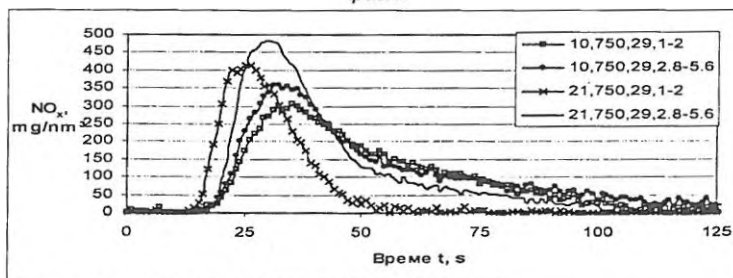
фиг.1



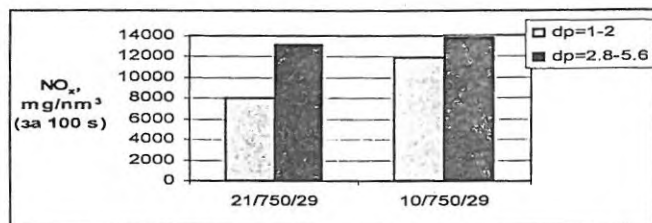
фиг.2



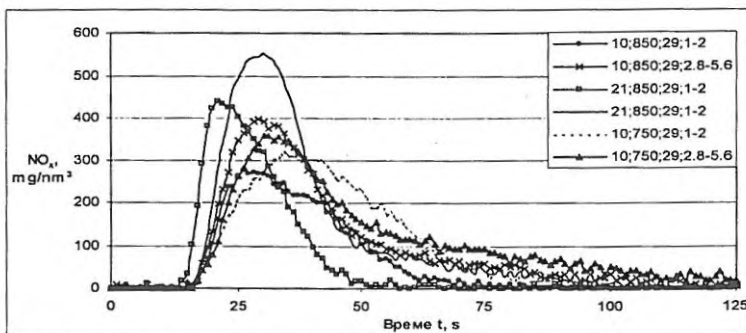
фиг.3



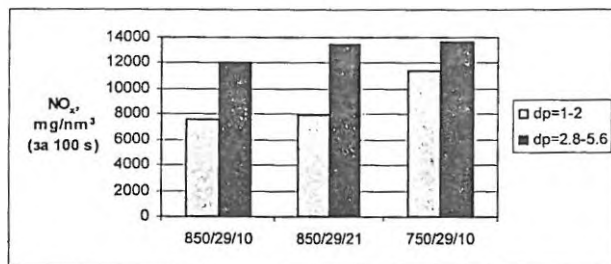
фиг.4



фиг.5



фиг.6



фиг.7