

УДК 621.3: 662.6

ГАЛЬМУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ОКСИДІВ АЗОТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАВИХРЕННЯ ПОТОКУ ПЕРВИННОГО ПОВІТРЯ У ВИХРОВОМУ ПАЛЬНИКУ КОТЛА ТПП 312

Кобзар С.Г., канд. техн. наук, Коваленко Г.В., канд. техн. наук,
Халатов А.А., академік НАН України

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019.7>

Представлені результати комп'ютерного моделювання спалювання газового вугілля в котлі ТПП 312 ДТЕК Ладжинська ТЕС. Досліджено вплив завихрення потоку первинного повітря на процес утворення оксидів азоту. Результати проведеного дослідження показали, що завихрення первинного повітря дозволяє знизити утворення оксидів азоту на величину до 12%.

Представлены результаты компьютерного моделирования сжигания газового угля в котле ТПП 312 ДТЭК Ладжинская ТЭС. Исследовано влияние завихрения потока первичного воздуха на процесс образования оксидов азота. Результаты проведенного исследования показали, что завихрение первичного воздуха позволяет снизить образование оксидов азота на величину до 12%.

The results of computer simulation of burning of gas coil in boiler TPP 312 DTEK Ladyzhyn presented. The influence of the vortex of the primary air stream on the formation of nitrogen oxides is studied. The results of the study showed that the swirling of the primary air could reduce the formation of nitrogen oxides by up to 12%.

Бібл. 4, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: спалювання газового вугілля, захист навколишнього середовища, оксиди азоту, пальники з завихренням потоку.

d_{NO} – відносна величина генерації оксидів азоту;
 m – коефіцієнт витрати;
 n – кількість лопатей завихрювача;
 N – потужність вентилятора;
 NO – витрата оксидів азоту;
 r – радіус каналу;
 R – радіус;
 S – число завихрення потоку;
 T – температура;
 v – тангенційна складова швидкості;

u – компонент швидкості перпендикулярний до осьової;
 w – осьова швидкість;
 d_{NO} – відносна зміна витрати оксидів азоту;

Нижні індекси

o – зовнішній, базовий;
 i – внутрішній;
 max – максимальний;
1, 2 – номери каналу вторинного повітря;
 c – канал первинного повітря.

Актуальність роботи. Вугілля може забезпечити Україні енергетичну незалежність.

Енергетика України є базовою галуззю економіки, що забезпечує функціонування всього господарського комплексу країни. Встановлена потужність генеруючого обладнання у 2012 році складала 53,8 млн. кВт. Станом на серпень 2016 року частка електричної енергії, що була вироблена на теплових електростанціях становила 51,16% на ТЕС, 12,05% на ТЕЦ.

Ставши членом Європейської енергетичної спільноти, наша держава взяла на себе зобов'язання виконувати жорсткі європейські вимоги щодо захисту навколишнього середовища.

Важливому питанню зниження викидів оксидів азоту присвячено недостатньо уваги. Зараз показник рівня цих викидів від вугільних блоків складає 400...1600 мг/н.м³, який потрібно зменшити до 350...600 мг/н.м³ до

2020 року, та до 200 мг/н.м³ після 2020 року. Для досягнення цієї мети необхідно провести реконструкцію вугільних блоків які мають достатній залишковий ресурс. Прикладом таких блоків можуть бути схожі по конструкції блоки ТПП 312 та ТПП-312а, якими оснащені Ладжинська ТЕС (6 блоків), Вуглегірська ТЕС (4 блоки), Запорізька ТЕС (4 блоки), Зуївська ТЕС (4 блоки).

Ефективне спалювання палива, зокрема твердого, забезпечується за допомогою трьох факторів: перемішування палива і окислювача, часу перебування в зоні температур, потрібних для згоряння часток палива і температури. Вибір останнього параметру знаходиться під тиском вимог, що діють в протилежних напрямках. З однієї сторони, більша температура сприяє кращому вигорянню палива, але, з другої сторони, при більшій температурі росте утворення оксидів азоту.

Одним з методів зменшення генерації оксидів азоту є зниження температури процесу спалювання, за рахунок застосування завихреного потоку суміші, в якій горять частинки палива. При цьому збільшується час перебування частинок палива в зоні окислення і зменшується концентрація кисню в критичних зонах горіння через підсмоктування продуктів реакції в корінь сторча.

Сучасні потужні котли ТЕС обладнані багатьма пальниками, які розташовані у один – два ряди, часто ряди пальників розташовані напроти. Актуальним залишається питання впливу завихрення повітря в системі пальників на рівень утворення оксидів азоту тому що зменшення температури горіння обмежене небезпекою виникнення недопалу.

Метою дослідження є визначення впливу завихрення потоку первинного повітря в пальниках котла на процес утворення оксидів азоту на прикладі енергетичного котла ТПП 312.

Прямоточний котел ТПП-312 паропродуктивністю 264 кг/с на надкритичні параметри пари ($p = 25$ МПа, $T = 545$ °С) з проміжним перегрівом виконаний однокорпусним з П-подібним компонованням. Котел працює в блоці з турбіною К-300-240-2 ПО ЛМЗ. Пароводяний тракт котла по ходу середовища містить такі поверхні нагрівання: економайзер, ПСКШ, НРЧ-1, II, III і IV,

СРЧ-1 і II, ВРЧ. Котел розрахований на спалювання продуктів збагачення газового вугілля (ГСШ) при рідкому шлаковидаленні.

Вторинне повітря подається двома кільцевими каналами внутрішнім 1 і зовнішнім 2. Кільцеві канали можуть мати власні лопатеві апарати для закручування вторинного повітря. Наявність лопатей в каналі С небажане, тому що абразивний вплив вугільного пилу призводить до зменшення міжремонтного періоду пальників. Закручення потоку аеросуміші може бути зроблено за допомогою завиткового завихрювача. Параметри завихрювача аеросуміші обираються таким чином, щоб завихрювальна швидкість в каналі аеросуміші дорівнювала відповідній швидкості в каналі 1. Вплив закручування течії в каналі первинного повітря, яке несе паливо в вигляді тонкого вугільного пилу, аналізується в даній роботі.

Результати досліджень та їх аналіз

Котлоагрегат ТПП 312 виробництва Таганрогського котельного заводу має П-подібну компоновку. Топка котла відкритого типу з рідким шлаковидаленням. Котел оснащений 16-ма пальниками, що розташовані у два яруси [1].

Котли ТПП 312 на ДТЕК Ладизинська ТЕС працюють на вугіллі марок Г та ДГ. Аналіз даних щодо якості вугілля, яке приходить на станцію, згідно сертифікатів

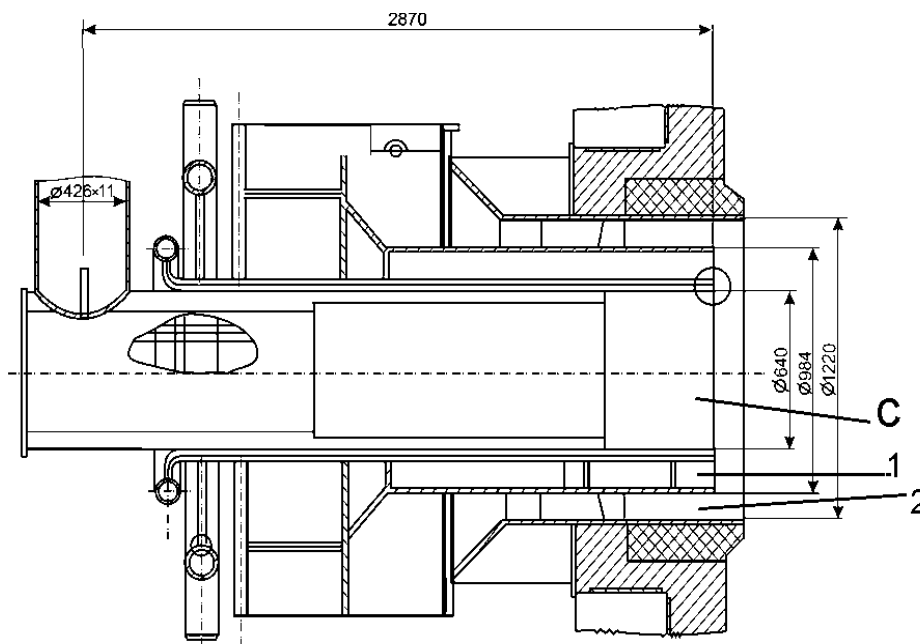


Рис. 1. Схема пальника котла ТПП 312.

c – первинне повітря з вугільним пилом; 1 – вторинне повітря (внутрішній кільцевий канал); 2 – вторинне повітря (зовнішній кільцевий канал).

на вугілля марок Г (Г0-100 енергетичне) та ДГ (ДГ 0-100 енергетичне) дав можливість вивести осереднені характеристики вугілля які використовувалися для вдосконалення моделі горіння пакету прикладних програм [2-4].

На рисунку 2 показані епюри температур за другим зліва пальником верхнього ряду фронтальної стінки котла.

В варіанті а середній коефіцієнт закручування у внутрішньому кільцевому каналі вторинного повітря $S_1 = (\sqrt{u_{11}^2 + v_{11}^2}) / w_1 = 0,67$, коефіцієнт закручування в каналі аеросуміші (первинне повітря) $S_c = 0,67$, в варіанті b закручування відсутнє.

При наявності закручування потоку максимальна

температура (варіант a) на 108 К менша ніж у випадку прямооточного пальника (варіант b), що є причиною зменшення на 5% генерації оксидів азоту. Відцентрові потоки створили зону розрідження коло осі пальника і продукти реакції починають розігрів паливної суміші ще в самому пальнику (варіант a). Площа поверхні початку горіння при застосуванні закручування скоротилася на 30%.

Результати розрахунків зведені в таблицю 1 і ілюструються рисунком 3.

Відносна величина викидів в порівнянні з базовою (варіант 1) розраховувалась по формулі (1).

$$d_{NO_i} = NO_i / NO_{i1} \quad (1)$$

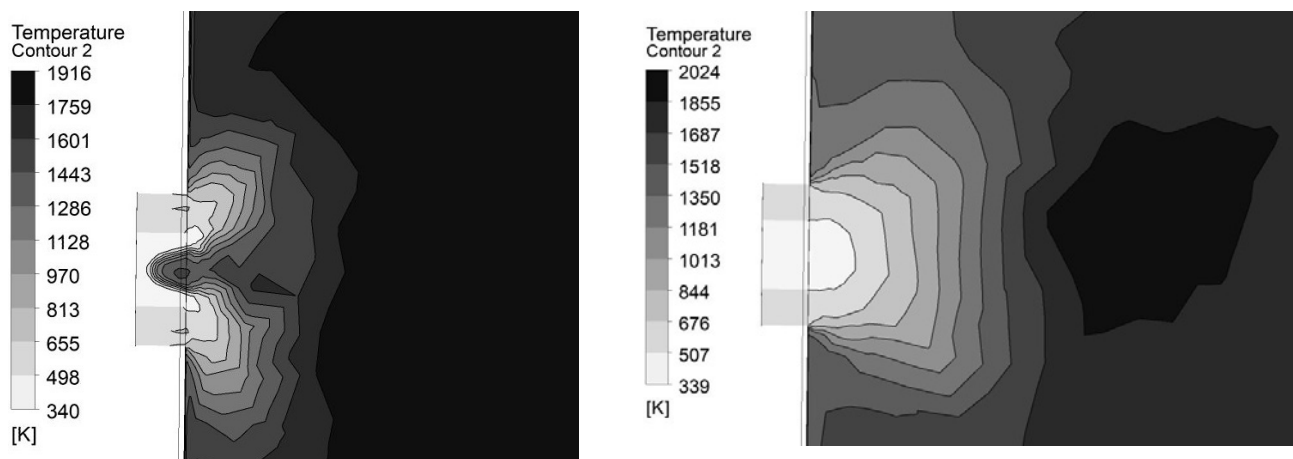


Рис. 2. Епюри температур за пальниками фронтальної стінки котла (верхній ряд, другий зліва) при закручуванні первинного повітря – а і при відсутності закручування – б.

Таблиця 1. Параметри топки котла ТПП 312 при різних закручуваннях потоків в пальниках

№	Кількість лопатей в каналах		Перепад тиску, Па	Числа завихрення			Генерація NO_i , кг/с	Відносні викиди	Макс. т-ра 1 ряд пальників, К	Макс. т-ра 2 ряд пальників, К
	$n1$	$n2$		S_c	S_1	S_2				
1		0	464	0	0,68	0,23	0,2950	1	2006	2024
2	0	8	697	0	0,65	0,92	0,2798	0,9485	2033	2028
3	0	8	697	0,67	0,65	0,92	0,2820	0,9559	1882	1930
4	0	24	826	0	0,58	1,34	0,2681	0,9085	2016	2024
5	0	24	826	0,58	0,58	1,34	0,2641	0,8953	1890	1949
6	8	8	938	0	1,13	0,91	0,2737	0,9278	1962	2013
7	8	8	938	1,13	1,13	0,91	0,2806	0,9511	1837	1893
8	24	24	1585	0	1,55	1,38	0,2575	0,8729	1940	1984
9	24	24	1585	1,53	1,55	1,38	0,2622	0,8888	1874	1916

Варіанти розрахунків 1, 2, 4, 6, 8 в таблиці 1 відносяться до режимів, коли центральний потік з вугільним пилом спеціально не закручується.

В варіантах 3, 5, 7, 9 закручування центрального потоку відбувається за допомогою спірального (равликового) завихрювача. Найбільший ефект щодо гальмування утворення оксидів азоту від закручування вторинного повітря спостерігається в діапазоні чисел закручування $1,13 \leq S_c \leq 1,55$. Відносні зміни утворення оксидів азоту визначались по формулі (2).

$$\Delta_{NO_i} = (d_{NO_i} - 1)100 \quad (2)$$

На рисунку 4 показано вплив закручування первинного і вторинного повітря на генерацію оксидів азоту. Лінія (1-2) – відповідає закручуванню одного лише вторинного повітря, лінія с – закручуванню первинного повітря.

В цілому, зниження генерації оксидів азоту, спричинене закручуванням первинного повітря, виявилось незначним. В найкращому варіанті (при числі закручування $S_c = 1,53$) вигравш обумовлений завихренням первинного повітря порівняно з завихренням вторинного повітря в каналах 1 та 2 становив лише 1,38%.

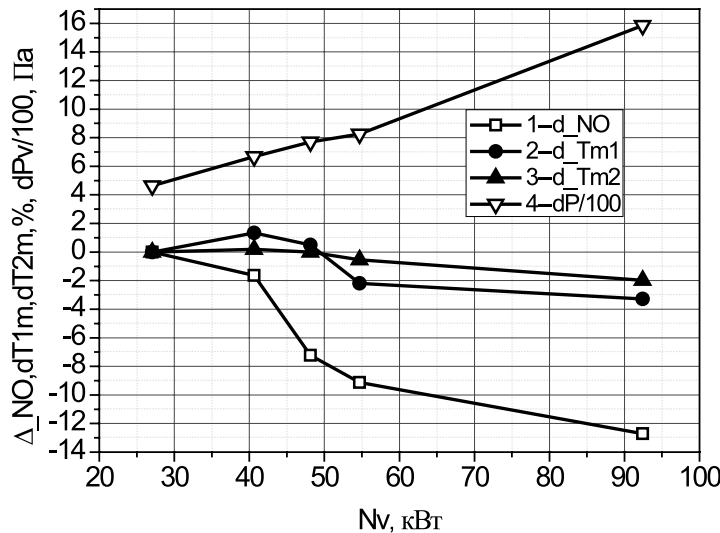


Рис. 3. Відносні зміни параметрів процесу горіння пиловидного вугілля при різних потужностях вентилятора, що подає повітря.

1 – відносна швидкість утворення оксидів азоту, 2, 3 – відносні максимальні температури на виході з першого (2) і другого (3) ярусів пальників, 4 – перепад тиску в пальнику.

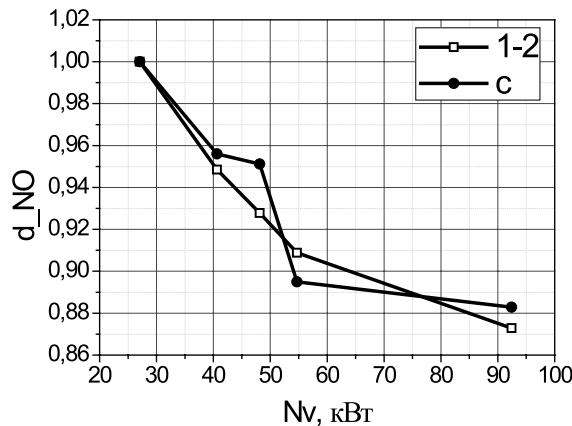


Рис. 4. Відносна величина викидів оксидів азоту в залежності від потужності завихрювача в каналах вторинного і первинного повітря.

1 – 2 завихрювання в каналах вторинного повітря; с – завихрювання в каналах первинного повітря.

Висновки

1. Завихрення повітря в пальниках котла ТПП 312 дозволяє знизити утворення оксидів азоту на величину до 12%.
2. Закручування потоку забезпечує вирівнювання епюри температур в топці котла так що максимальна температура на 100 К менша ніж у випадку прямоточно-го пальника.
3. При спалюванні газового вугілля завихрення первинного повітря не призводить до суттєвого зниження оксидів азоту.

Роботу підготовлено в межах виконання бюджетної теми 1.7.888 «РОЗВИТОК НАУКОВИХ ЗАСАД ТЕРМОГАЗОДИНАМІКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТА МОНІТОРИНГУ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН».

ЛІТЕРАТУРА

1. *Кобзар С.Г., Халатов А.А.* Визначення ефективності зниження викидів оксидів азоту системою ступеневого спалювання вугілля котла ТПП–312 блоку №6 ДТЕК Ладизинська ТЕС // Вісник НТУУ ХПІ. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, 2014, – №13(1056). – С.85 – 91.
2. *Кобзарь С.Г., Халатов А.А.* Апробация упрощенной модели расчета горения и формирования оксидов азота при сжигании жидкого топлива // Промышленная теплотехника, –т.28, №3–2006, – С. 62 – 66.
3. *Подовження ресурсу екранів топки котла ТПП-312 шляхом зменшення високотемпературної газової корозії за допомогою керування структурою течії в об'ємі топки при спалюванні вугілля/ Кобзар С.Г., Халатов А.А// в кн. Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Збірник наукових статей. – Київ: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2015. – 816 с. електронне видання <http://www.patonpublishinghouse.com/rus/compilations#winresurs2015/>.– 368 – 374 с.*
4. *Кобзар С.Г., Коваленко Г.В., Халатов А.А.* Комп'ютерне моделювання ерозії конвективних поверхонь нагріву котла ТПП 312// Промышленная теплотехника. – 2017. – Т.39 – №.5. – С.78 – 83.

SLOW-UP GENERATION OF NITROGEN OXIDES BY TURNING THE PRIMARY AIR FLOW IN THE SWIRL BURNER OF THE BOILER TPP 312

Kobzar S.G., Kovalenko G.V., Khalatov A.A.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Science of Ukraine, Maria Kapnist str., 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019.7>

The aim of the work is computer simulation of the formation of nitrogen oxides in the furnace of the boiler TPP 312 with the swirl of the primary air in the boiler burners. The organization of the vortex flow allows reducing the generation of nitrogen oxides due to the formation of a return flow, which ballasts the combustion zone by oxidation products. The limitation of this technique is the reduction of the combustion temperature which can lead to underburning.

The objective of the study is to determine the formation of nitrogen oxides based on computer simulation of the gas dynamics of the firing space of the boiler TPP 312 DTEK Ladyzhyn TES when swirling streams of air are used in the burner channels.

Efficient combustion of fuel, in particular solid, is ensured by three factors: mixing of the fuel and the oxidizing agent, residence time in the temperature zone necessary for the combustion of fuel particles and temperature. The selection of the parameter is under pressure from requirements operating in opposite directions. On the one hand, a higher temperature contributes to better fuel burning, but, on the other hand, the formation of nitrogen oxides increases at a higher temperature.

Analysis of the data on the quality of coal that comes to the station made it possible to derive the averaged characteristics of coal that were used to improve the combustion model of the software package.

Conclusions

In the presence of swirling flow, the maximum temperature is 108 K lower than in the case of a direct-flow burner, which causes a 5% reduction in the generation of nitrogen oxides. Centrifugal flows created a rarefaction zone at the burner axis and the reaction products begin to heat the fuel mixture in the burner itself. The surface area of the beginning of combustion during the application of twisting reduces by 30%.

The results of the study showed that the twisting of the primary air does not lead to a significant reduction of nitrogen oxides.

References 4, figures 4, tables 1.

Keywords: pulverized coal boiler ТПП – 312, formation of nitrogen oxides, curling of primary air flow.

1. *Kobzar S.G., Khalatov A.A.* [Determination of the effectiveness of reducing emissions of nitrogen oxides by the system of stepwise burning of coal of the boiler TPP 312 of unit №. 6 DTEK Ladyzhyn TPP] [Bulletin of NTUU KPI. Series: Energy and heat engineering processes and equipment]. 2014. № 13 (1056). P. 85–91. (in Ukr.)

2. *Kobzar S.G., Khalatov A.A.* [Testing a simplified model for calculating the combustion and the formation of nitrogen oxides during the combustion of liquid fuel], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering]. V.28, №3. 2006. P.62–66. (in Rus.)

3. *Kobzar S.G., Khalatov A.A.* [Extension of the life of the boiler furnace screens TPP-312 by reducing high-temperature gas corrosion by controlling the flow structure in the furnace volume during coal combustion], [in the book «Problems of resource and safety of operation of structures, structures and machines: Collection of scientific articles»], Kiev: Electric Welding Institute E.O. Paton NAS of Ukraine. 2015. 816 p. Electronic edition. <http://www.patonpublishinghouse.com/rus/compilations#winsresurs2015/>. P. 368–374. (in Ukr.)

4. *Kobzar S.G., Kovalenko A.V., Khalatov A.A.* [Computer simulation of the erosion of convective heating surfaces of the boiler TPP 312], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2017. V. 39. №. 5. P. 78–83. (in Ukr.)

Отримано 16.07.2019

Received 16.07.2019