

УДК 621.3: 662.6

**ВПЛИВ ЗАВИХРЕННЯ ПОТОКУ ВТОРИННОГО ПОВІТРЯ В СИСТЕМІ ПАЛЬНИКІВ
КОТЛА НА ТЕРМОГАЗОДИНАМІКУ ВОГНЕВОГО ПРОСТОРУ ТОПКИ КОТЛА ТА
ПРОЦЕС УТВОРЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ В АКТИВНІЙ ЗОНІ ГОРІННЯ**

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.1.2020.7>

Представлені результати комп'ютерного моделювання топкових процесів в котлі ТПП 312 на ДТЕК Ладизинська ТЕС. Досліджено вплив завихрення потоку повітря в системі пальників котла на процес утворення оксидів азоту в активній зоні горіння. Результати проведеного дослідження показали, що при спалюванні газового вугілля в котлі ТПП 312 організація завихрення вторинного повітря дозволяє отримати зниження оксидів азоту до 12%. Застосування більше 16 лопатей для завихрення вторинного повітря недоцільно, тому що не призводить до суттєвого зниження оксидів азоту, але веде до збільшення гідравлічного опору пальника.

Представлены результаты компьютерного моделирования топочных процессов в котле ТПП 312 на ДТЭК Ладизинская ТЭС. Исследовано влияние завихрения потока воздуха в системе горелок котла на процесс образования оксидов азота в активной зоне горения. Результаты проведенного исследования показали, что при сжигании газового угля в котле ТПП 312 организация завихрения вторичного воздуха позволяет получить снижение оксидов азота до 12%. Применение более 16 лопастей для завихрения вторичного воздуха нецелесообразно, так как не приводит к существенному снижению оксидов азота, но ведет к увеличению гидравлического сопротивления горелки.

The results of computer simulation of furnace processes in the boiler TPP 312 at DTEK Ladyzhin TPP-312 are presented. The influence of the air flow swirling in the boiler burner system on the formation of nitrogen oxides in the active combustion zone have been investigated. The results of this study showed that when combustion of gas in a boiler TPP 312, the organization of the twist of secondary air allows for a reduction of nitrogen oxides up to 12%. Application of more than 16 blades for the twist of secondary air is not feasible, since it does not lead to a significant reduction in nitrogen oxides, but leads to an increase in the hydraulic resistance of the burner.

Бібл. 4, табл. 2, рис. 8.

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

m – коефіцієнт витрати;
 n – кількість лопатей завихрювача;
 N – потужність вентилятора;
 NO_x – витрата оксидів азоту;
 r – радіус каналу;
 R – радіус;
 S – число завихрення потоку;
 T – температура;

v – тангенційна складова швидкості;
 w – осьова швидкість;

Нижні індекси

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

Актуальність роботи. Вугілля є тим джерелом енергії, яке може забезпечити Україні енергетичну незалежність. Ставши членом Європейського енергетичного товариства, наша держава взяла на себе зобов'язання виконувати жорсткі європейські вимоги щодо захисту навколишнього середовища.

Одним з методів зменшення генерації оксидів азоту є зниження температури процесу спалювання, зменшення концентрації кисню в критичних зонах горіння.

Застосування завихрення окислювача в пальниках відноситься до первинних методів зниження оксидів

азоту і широко застосовується в сучасних котлах для спалювання газоподібного, рідкого та твердого палив. Організація вихрового потоку дозволяє знизити рівень генерації оксидів азоту за рахунок утворення області зворотної течії, яка забезпечує баластування зони високої температури продуктами горіння, чим знижується концентрація кисню в зоні, що сприятливо для утворення оксидів азоту за термічним механізмом. 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.

Дослідження впливу завихрення потоку повітря в системі пальників котла на термогазодинаміку вогневого простору топки котла та процес утворення оксидів азоту в активній зоні горіння проводилося на прикладі енергетичного котла ТПП 312. 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] рис. 1.

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

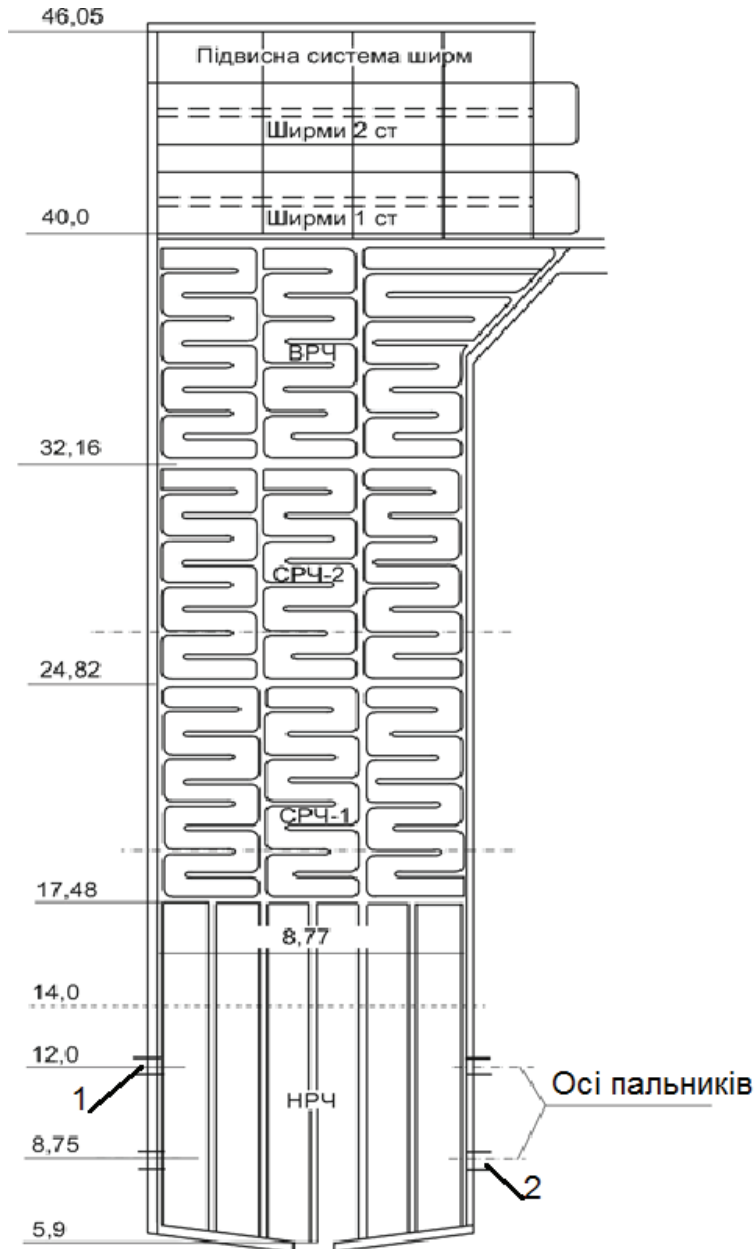


Рис. 1. Схема компоновки котла ТПП 312: 1 – пальники на фронтальній стіні котла; 2 – пальники на задній стіні котла.

На рис. 2 наведено схему пального, які застосовуються в котлі ТПП 312.

Було побудовано комп'ютерну модель газового тракту котла ТПП 312. Проведено окреме дослідження гідродинаміки завихреного потоку в моделі пального кот-

ла ТПП 312 з різною кількістю лопатей для завихрення вторинного повітря.

На рис. 3 показано поля температур в топці котла ТПП 312 при відсутності закрутки повітря в палиниках. Вони характеризуються значною нерівномірністю і

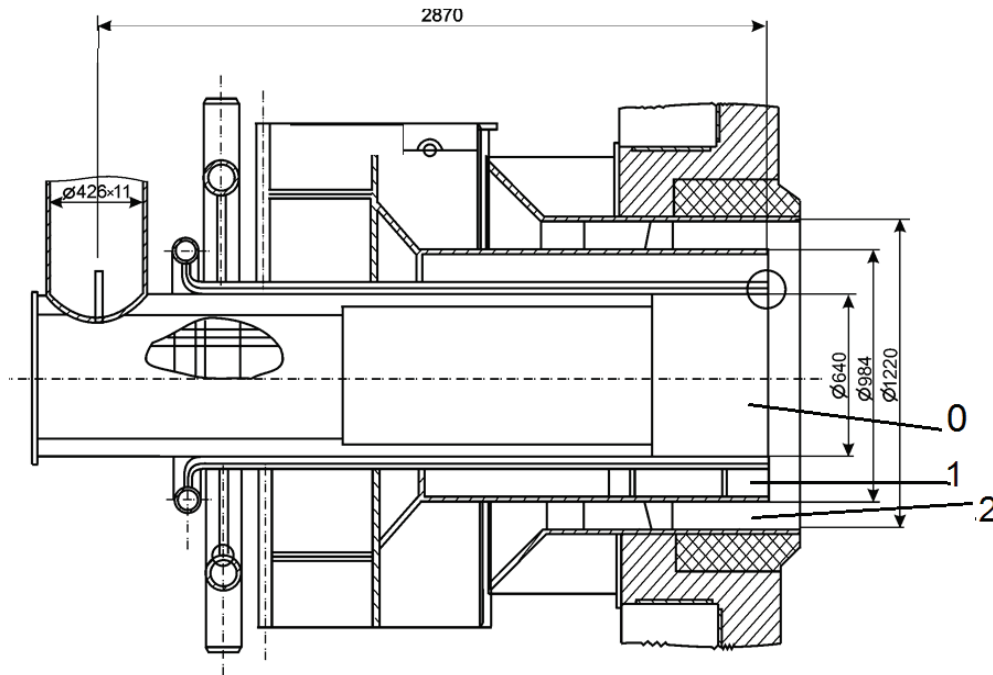


Рис. 2. Схема пального котла ТПП 312: 0 – первинне повітря з вугільним пилом; 1 – вторинне повітря (внутрішній кільцевий канал; 2 – вторинне повітря (зовнішній кільцевий канал.)

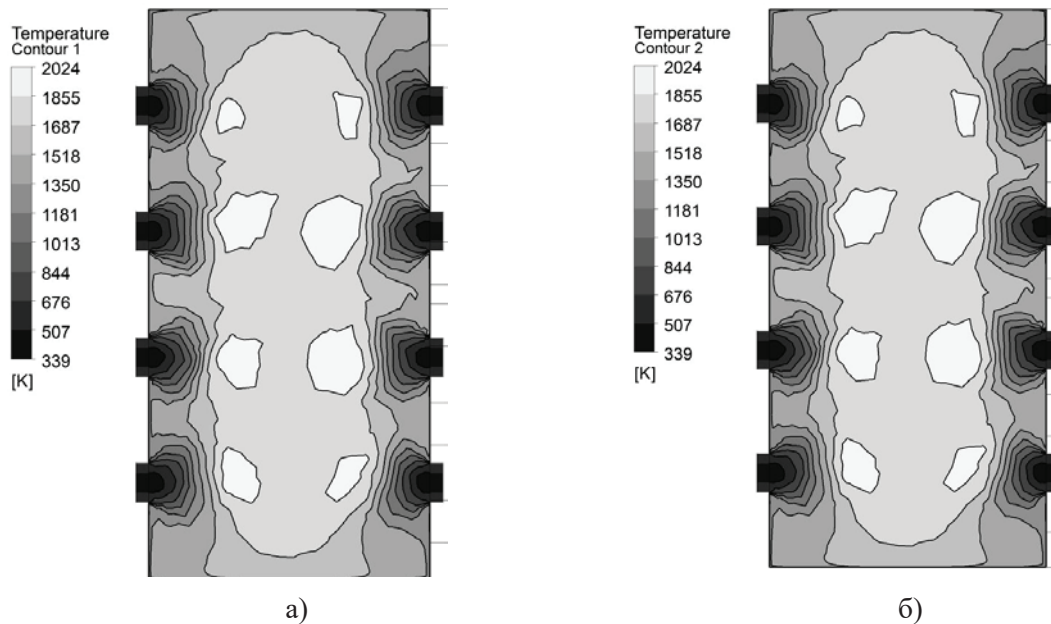


Рис. 3. Поля температур в топці котла ТПП 312 при відсутності закрутки повітря в палиниках на першому (а) і другому (б) ярусах.

порівняно високим значенням максимальних температур – більше 2000 К. Ці обставини сприяють утворенню оксидів азоту ($\text{NO} = 0,2939 \text{ кг/с}$). (Параметри процесу при відсутності закрутки повітря в пальниках для порівняння інших варіантів конструкцій прийняті як базові).

Епюра температур біля передньої і задньої стін топки на рівні другого ярусу пальників виявляється більш нерівномірною, ніж на рівні першого ярусу. Збільшена температури газів біля середини задньої стінки топки зберігається (як буде показано далі) аж до повороту в горизонтальну частину газоходу, де розміщені перегрівачі пари.

В моделі пальника використовувалися лопаті з кутом повороту потоку у 57 градусів. На рис. 4. наведено лінії швидкості для пальника з 24 лопатями для завихрення периферійного вторинного повітря (зовнішній кільцевий канал).

Число завихрення потоку визначалася на виході з кожного кільцевого каналу за формулою (1).

$$S = \frac{\int_{R_i}^{R_o} v \cdot w \cdot r \cdot dr}{\int_{R_i}^{R_o} v^2 r \cdot dr}, \quad (1)$$

де R_i – внутрішній радіус кільцевого каналу; R_o – зовнішній радіус кільцевого каналу; w – осьова складова швидкості, v – тангенційна складова швидкості.

Коефіцієнти витрати визначалися на виході з кожного кільцевого каналу як співвідношення маси повітря через канал до загальної маси повітря, що подається в пальник – індекс 1 відповідає внутрішньому каналу вторинного повітря, індекс 2 – зовнішньому. Надлишковий тиск необхідний для проходу повітря через пальник визначався на вході в пальник. Результати дослідження впливу кількості лопатей на структуру потоку на виході з пальника наведено в таблиці 1. Результати таблиці 1 використовували для задавання граничних умов на зрізі пальників при розрахунку термогазодинаміки котла ТПП 312.

Було проведено чисельне моделювання процесу горіння вугілля в комп'ютерній моделі котла, визначено вплив ступеня завихрення та його напрямку на термогазодинаміку вогневого простору топки котла та процес утворення оксидів азоту в активній зоні горіння.

На рис. 5 представлені вектори швидкості на виході з пальників для випадку пальника з 8 лопатями завихрення вторинного повітря.

Напрямок завихрення вторинного повітря обирався таким чином, щоб не заважати пальнику на протилежному боці котла (рис. 5). Коридорне розміщення

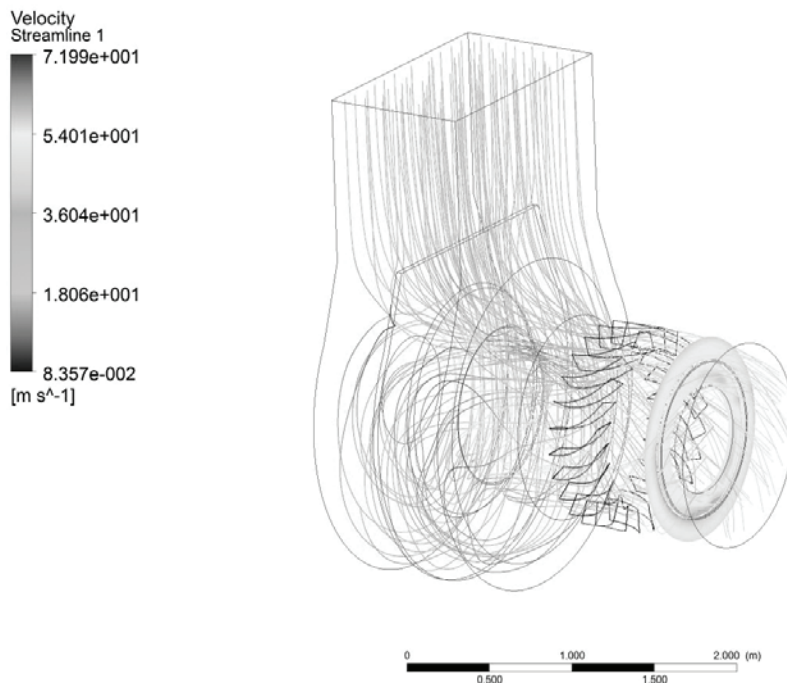


Рис. 4. Лінії швидкості в пальнику з 24 лопатями для завихрення периферійного вторинного повітря.

пальників обумовлює більший підігрів в пальниках верхнього ярусу (рис. 6). Результати дослідження впли-

ву завихрення потоку вторинного повітря на екологічні характеристики котла на дано в таблиці 1.

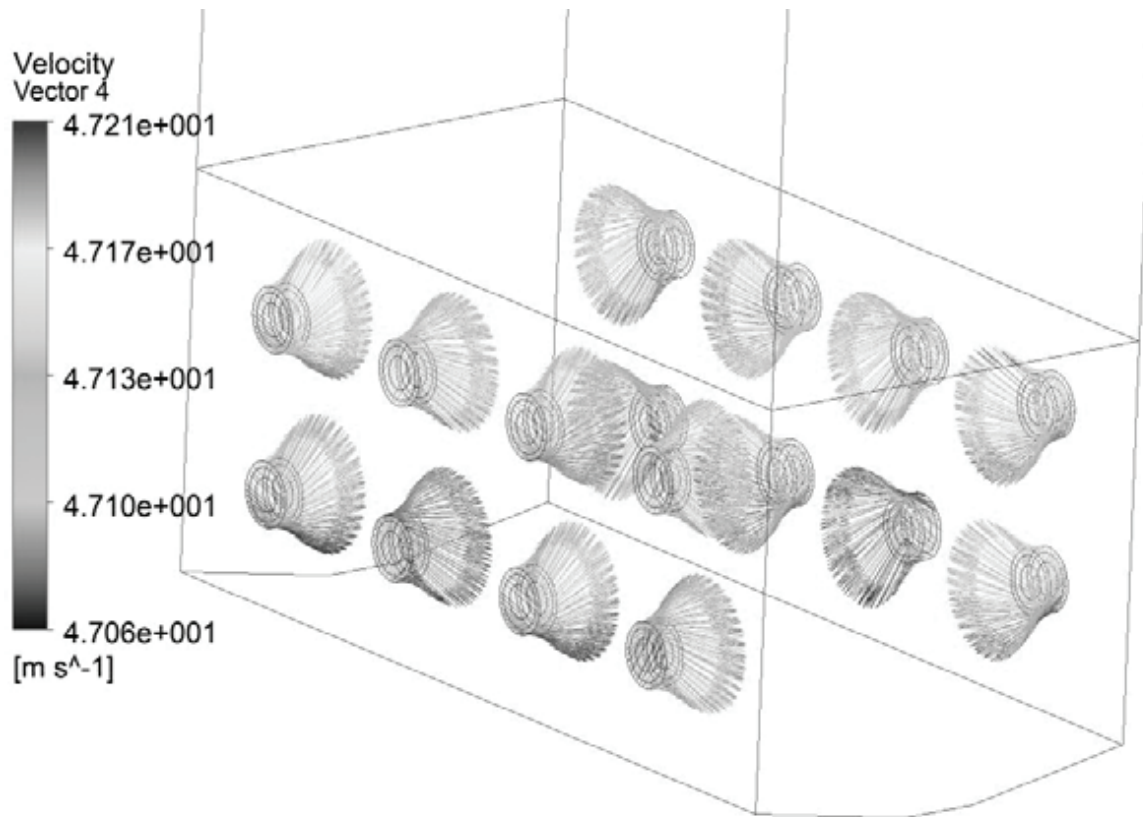


Рис. 5. Вектори швидкості на виході з пальників для випадку пальника з 8 лопатями завихрення вторинного повітря.

Таблиця 1. Вплив кількості лопатей енергетичну та екологічну характеристики котла ТПП 312 на номінальному навантаженні

Кількість лопатей тракту вторинного повітря		Перепад тиску на пальнику, Па	Коефіцієнт витрати		Число завихрення потоку		Середня осьова швидкість на виході з каналу, м/с		NO, кг/с	T _{max} , К 1ряд пальників	T _{max} , К 2ряд пальників
n ₁	n ₂		m ₁	m ₂	S ₁	S ₂	w ₁	w ₂			
0	0	464	0,41	0,59	0,6	0,21	33,5	38,3	0,2950	2006	2024
0	8	697	0,48	0,52	0,56	0,83	39,9	33,3	0,2798	2033	2028
0	24	826	0,55	0,45	0,5	1,2	45,76	28,9	0,2681	2016	2024
8	8	938	0,45	0,55	0,96	0,82	37,0	35,6	0,2737	1962	2013
24	24	1585	0,45	0,55	1,32	1,24	37,3	34,8	0,2575	1940	1984

Вплив завихрення потоку вторинного повітря на параметри горіння вугілля в топці ТПП 312 в залежності від кількості лопатей показано на рис. 7.

Відносна зміна величини викидів оксидів азоту визначалась по формулі (2)

$$dNO = (NO_i - NO_o) \cdot 100 / NO_o \quad (2)$$

Збільшення кількості лопатей в пальнику робить закручування потоку більш досконалим, в результаті можна відмітити деяке зменшення викидів оксидів азоту. Найбільший ефект досягається в інтервалі кількості завихрюючих лопатей від 8 до 16. Максимальні температури залишаються практично на тому самому рівні, а перепади тиску ростуть майже вдвічі швидше, ніж концентрація оксидів азоту.

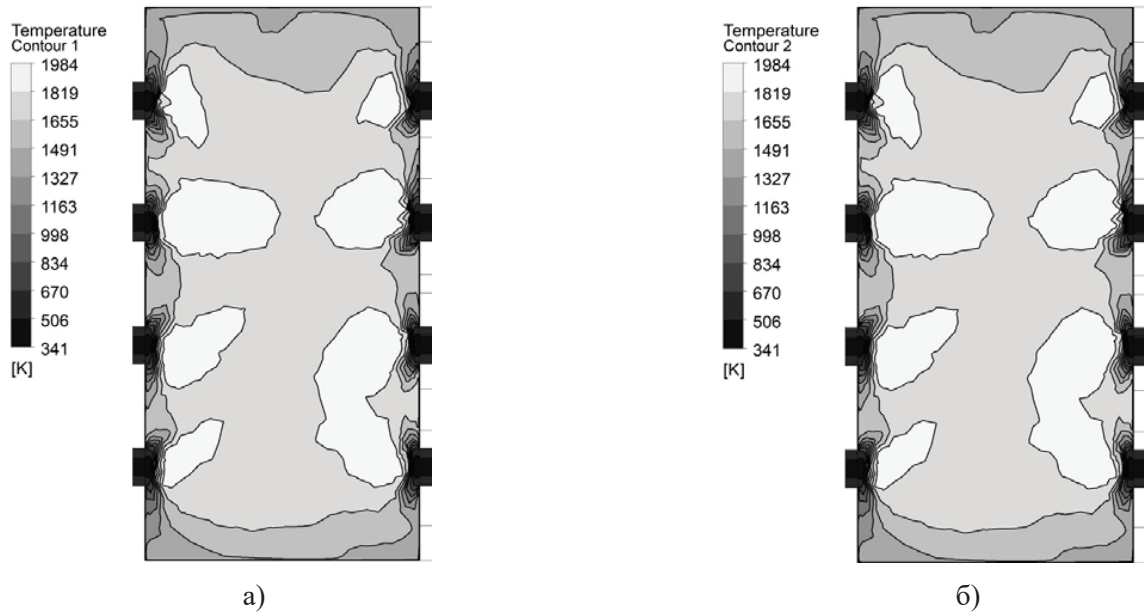


Рис. 6. Поля температур в топці котла ТПП 312 при закрутці вторинного повітря в пальниках 24 лопатями на першому (а) і другому (б) ярусах.

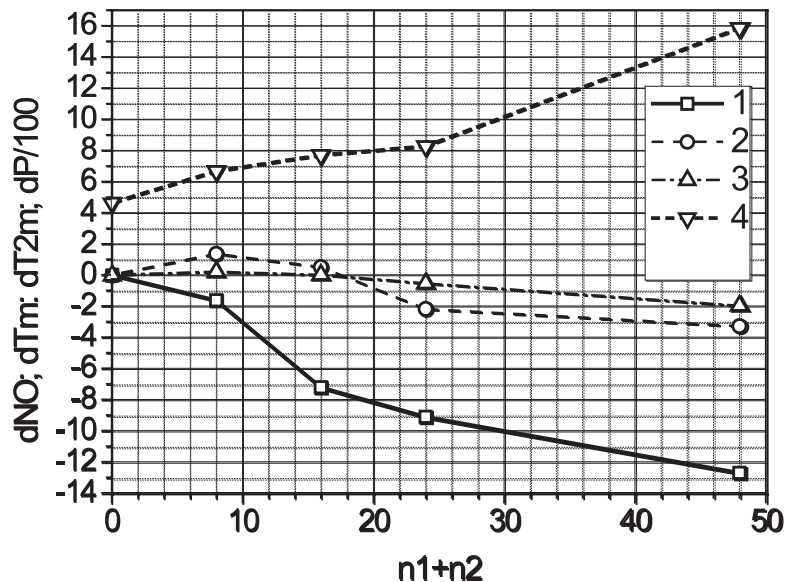


Рис. 7. Відносні зміни параметрів процесу горіння пиловидного вугілля при різних кількостях лопатей в каналах вторинного повітря: 1 – відносна швидкість утворення оксидів азоту, 2 – відносна максимальна температура на виході з першого і 3 – другого каналів вторинного повітря, 4 – перепад тиску в пальнику.

Детальніше вплив завихрювання вторинного повітря на генерацію оксидів азоту показано на рис. 8.

Закручування вторинного повітря в зовнішньому кільцевому каналі (24 лопаті) виявилась більш ефективною, ніж помірне закручування в двох каналах (8 лопатей у внутрішньому каналі і 8 лопатей у зовнішньому каналі).

На рис. 8 представлено результати дослідження у вигляді залежності кількості оксидів азоту, на яку зменшено викиди від енергетичних витрат на прокачку паливників котла для навантаження 280 МВт_г. Потужність вентиляторів визначалась як добуток об'ємної витрати вторинного повітря на перепад тиску на тракті вторинного повітря в паливнику. Відносна кількість оксидів азоту визначалась за формулою

$$\Delta NO = 1 - (NO_0 - NO_i) / NO_0. \quad (3)$$

Результати числової апроксимації результатів проведеного дослідження дозволили отримати еколого-енергетичну характеристику котла ТПП 312 для номінального навантаження. Було отримано, що зниження утворення оксидів азоту обумовлене завихрен-

ням вторинного залежить від потужності вентиляторів, що забезпечують прокачку необхідної для спалювання вугілля кількості повітря, залежить наступним чином:

$$\Delta NO = 0,86 + 0,36 \cdot \exp(-3,9 \cdot 10^{-5} N), \quad (4)$$

де N – потужність вентиляторів, Вт.

Висновки

Результати проведеного дослідження показали що при спалюванні газового вугілля в котлі ТПП 312:

- організація завихрення вторинного повітря дозволяє отримати зниження оксидів азоту на величину до 12%;
- застосування більше 16 лопатей для завихрення вторинного повітря не раціонально, тому що не призводить до суттєвого зниження оксидів азоту, але веде до збільшення гідравлічного опору паливника.

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

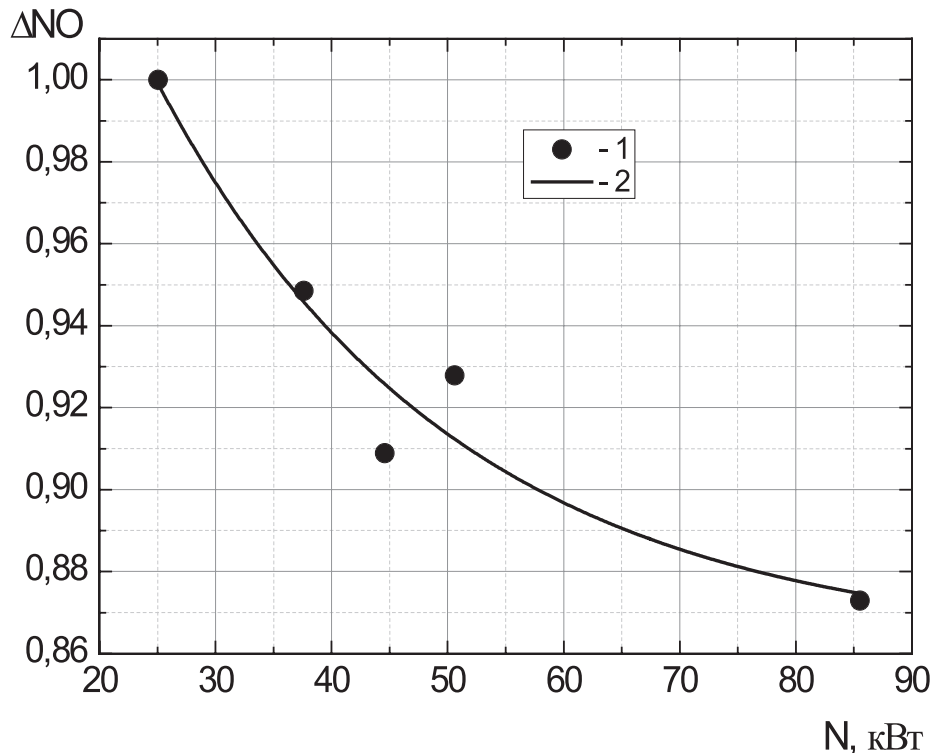


Рис. 8. Відносна зміна величини викидів оксидів азоту в залежності від потужності вентилятора, який створює закручення вторинного повітря в паливниках котла:

1 – результати розрахунків; 2 – числова апроксимація.

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 ХП. 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.

EFFECT OF TURNING THE FLOW OF SECONDARY AIR IN THE BOILER'S BURNER SYSTEM ON THE THERMAL AND GAS DYNAMICS OF THE BOILER FIRING SPACE AND THE PROCESS OF FORMATION OF NITROGEN OXIDES IN THE ACTIVE COMBUSTION ZONE

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.1.2020.7>

The aim of the work is computer simulation of the formation of nitrogen oxides in the combustion zone of the boiler of the TPP 312 with different twists of secondary air in the boiler burners. The organization of the vortex flow allows to reduce 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 to reduce 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 thermogas dynamics of the firing space of the boiler Chamber of Commerce and Industry 312 DTEK Ladyzhinskaya TPP when burning gas coal using spinning blades in the secondary air channels of the burners.

The following variants of the secondary air flow in the burners were investigated: 1) without twisting the flow, both in the outer annular channels and in the internal channels of the burners (the variant is taken as the baseline for comparison); 2) 8 blades in the outer annular channels in their absence in the internal channels; 3) 24 blades in the outer annular channels in their absence in the internal channels; 4) 8 blades each, both in the outer annular canals and in the internal canals; 5) 24 blades, both in the outer annular canals, and in the internal canals.

With an increase in the number of blades, the pressure drop increased, which was necessary to overcome their resistance. The greatest effectiveness of the use of turbulent blades is observed in the range of their total number from 8 to 16.

The expression for the relative change of the amount of nitrogen oxide emissions and the fan power required to overcome the resistance of turbine blades was obtained.

References 4, figures 8, tables 1.

Keywords: pulverized coal boiler TPP – 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