

УДК 536.46:532.517.4

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «OVERFIRE AIR» ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ СЖИГАНИИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ КОТЛА БКЗ-160 АЛМАТИНСКОЙ ТЭЦ

*Аскарова А.С., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Бекмухамет А.*

*Казахский национальный университет имени аль Фараби, г. Алматы, Казахстан*

Проведены вычислительные эксперименты с применением технологии «Overfire Air» при горении пылеугольного факела в камере сгорания котла БКЗ-160 Алматинской ТЭС, которые позволяют достичь снижения вредных выбросов диоксида углерода  $\text{CO}_2$ , оксида  $\text{NO}$  и диоксида азота  $\text{NO}_2$ , и минимизировать потери энергии. Приведены результаты вычислительных экспериментов по влиянию подачи дополнительного воздуха (OFA –технология) на основные характеристики тепломассопереноса. Проведено сравнение с базовым режимом горения твердого топлива, когда подача дополнительного воздуха отсутствует (OFA = 0%).

Метод OFA, или как его еще называют «метод острого дутья» [1], включает в себя подачу всего объема воздуха для горения (первичного и вторичного) в два этапа: 70–90% воздуха подается в горелки, а остальное его количество подается в топочное устройство над горелкой «острое дутье» (рис. 1). При смешивании в горелке топлива с контролируемым потоком воздуха создается относительно низкотемпературная, обедненная кислородом и обогащенная топливом зона горения в нижней части топочного устройства, которая помогает снизить образование  $\text{NO}_x$  из азота, содержащегося в топливе (топливные  $\text{NO}_x$ ).

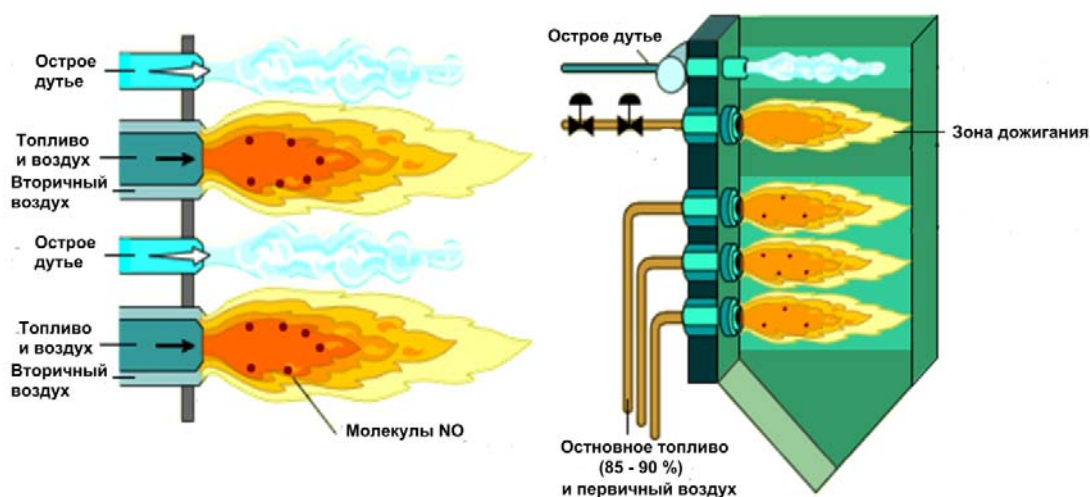


Рис. 1. Различные варианты компоновки OFA инжекторов.

«Острое дутье» подается над зоной основного горения в несколько воздушных каналов, расположенных на передней и задней стенках камеры сгорания над верхним уровнем горелок, для достижения как можно более полного сгорания топлива. Относительно низкая температура в обогащенной кислородом зоне дожигания обуславливает пониженное образование  $\text{NO}_x$  из воздуха (термические  $\text{NO}_x$ ) [2].

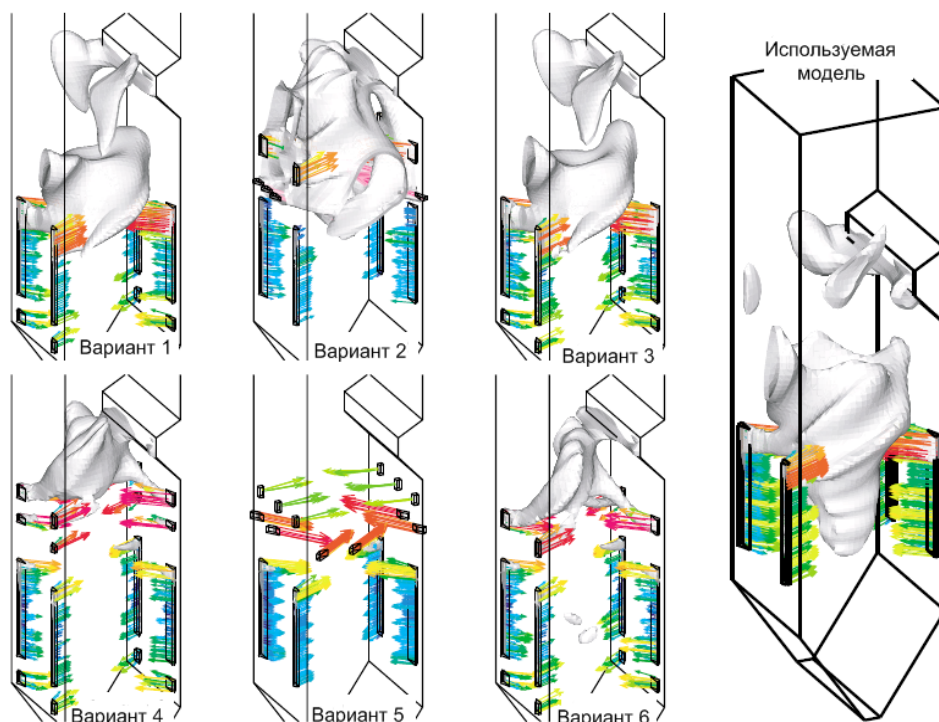


Рис. 2. Аэродинамическая картина введения в камеру сгорания воздушных дополнительных потоков по методу «Overfire Air».

На рис. 2 представлены аэродинамические особенности возможных методов организации процесса горения с использованием «Overfire air» в реальной камере сгорания с тангенциальной схемой подачи топлива и окислителя. Видно, что преимущество данного метода заключается в том, что для широкого выбора компоновки инжектирующих источников, возможно обеспечить минимальные затраты при реорганизации существующего режима.

Численное моделирование процесса сжигания твердого топлива в пылеугольном состоянии проводилось нами на основе нелинейных дифференциальных уравнений, записанных с учетом химических реакций и состоящих из уравнений неразрывности и движения вязкой среды, уравнений распространения тепла и диффузии для компонентов реагирующей смеси и продуктов реакции с учетом теплового излучения и многофазности среды, уравнений  $k-\varepsilon$ -модели турбулентности, а также уравнения состояния и уравнений химической кинетики, определяющих интенсивность нелинейных источников энергии и вещества.

Первичные инжектируемые потоки представляют собой первичный воздух (примерно 70–90 % от общего базового объема воздуха), который подается в камеру сгорания в смеси с твердым топливом, при относительно невысокой температуре (порядка 400 – 600 К). При этом удастся достичь образования в области горелок богатой топливом зоны с пониженным содержанием кислорода, что способствует умеренному образованию топливных  $\text{NO}_x$ .

Вторичные инжектируемые потоки (примерно 10–30% от общего базового объема воздуха) вводятся дополнительно выше зоны сгорания через специальные инжекторы с воздушными портами, которые устанавливаются в плоскости выше основных горелок. Местоположение таких дополнительных инжекторов

зависит от конфигурации камер сгорания. В этой области основной процесс горения практически завершается. Следовательно, относительно низкая температура в области вторичного инжектирования ограничивает образование тепловых  $\text{NO}_x$ .

### **Постановка задачи и методика проведения вычислительного эксперимента**

Для проведения вычислительных экспериментов по исследованию влияния ОФА – технологии, выбрана действующая камера сгорания БКЗ - 160 Алматинской ТЭС и в качестве топлива - экибастузский уголь. Камера сгорания БКЗ - 160 Алматинской ТЭС имеет расчетную паропроизводительность 160т/ч, при давлении 9,8 МПа и температуре перегрева пара 540°С. Тепловая мощность камеры сгорания 124,4 МВт. По боковым сторонам топочной камеры расположены 4 блока прямооточных щелевых горелок, которые направлены по касательной к центральной условной окружности. Для исследования влияния ОФА было выбрано 2 режима: 10% и 20% общего объема воздуха подается через инжекторы в верхней части камеры сгорания.

Использовалась гомогенная модель пылевоздушной смеси, когда скорости твердых частиц считаются равными локальной скорости газа. При этом для турбулентной вязкости с учетом твердых частиц выбрано соотношение [3]:

$$\mu_{P,eff} = \mu_{G,eff} (1 + \rho_P / \rho_G)^{-1/2}.$$

Краевые условия для уравнений сформулированы следующим образом [3]:

начальные условия: при  $t = 0$

$$\begin{aligned} u_i(x_i, 0) &= 0, & C_\beta(x_i, 0) &= C_\beta^0, \\ P(x_i, 0) &= P_{атм}, & k(x_i, 0) &= 0, \\ T(x_i, 0) &= T^0, & \varepsilon(x_i, 0) &= 0. \end{aligned}$$

Граничные условия необходимо задать на свободных поверхностях, которыми являются горелки на входе, выход из топочной камеры котла и плоскости симметрии. Все величины на входе задаются по измерениям или оцениваются. На выходе из топочной камеры принимается условие установившегося равновесия, когда производные всех функций по направлению потока равны нулю.

На рис. 3 показан общий вид камеры сгорания, на рис. 4 в поперечном сечении камеры сгорания приведена схема течения в области подачи топлива (а) и в области использования ОФА-технологии инжектирования вторичного воздуха (б). На рис. 5 приведено распределение векторов полной скорости в продольном сечении в камеры сгорания для различных объемов подачи дополнительного воздуха (ОФА - 0%, б) ОФА - 10%, в) ОФА – 20%).

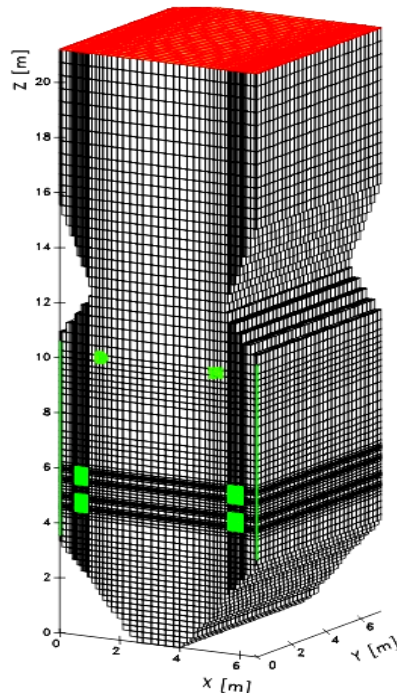


Рис. 3. Общий вид топочной камеры котла БКЗ160 Алматинской ТЭЦ и разбивка ее на контрольные объемы.

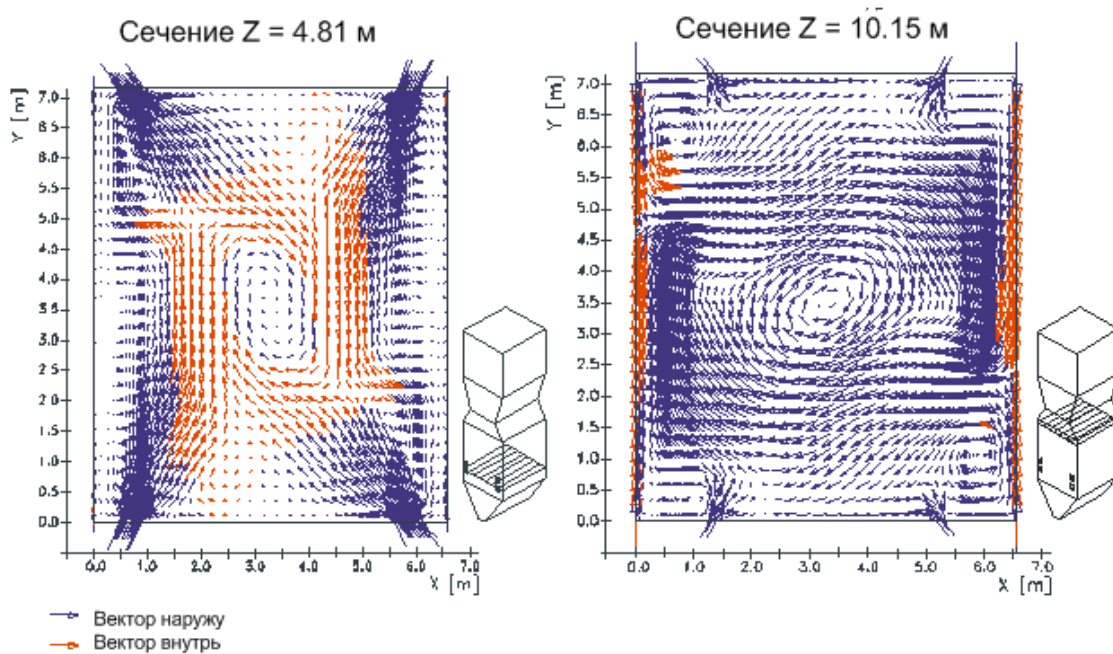


Рис. 4. Схема камеры сгорания и расположение инжекторов OFA (поле скоростей).

### Результаты вычислительного эксперимента

На (рис. 6 – 11) приведены результаты вычислительных экспериментов по влиянию подачи дополнительного воздуха (OFA –технология) на основные характеристики тепломассопереноса. Здесь же проведено сравнения с базовым режимом горения твердого топлива, когда подача дополнительного воздуха отсутствует (OFA=0%).

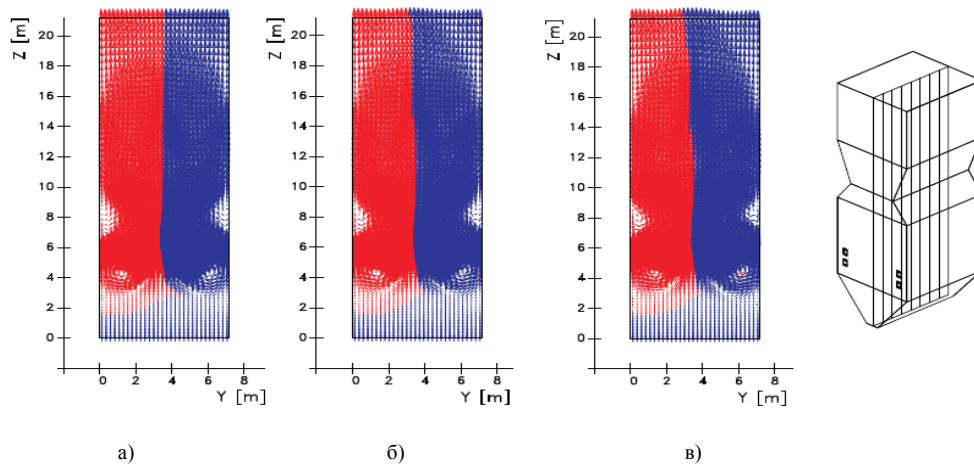


Рис. 5. Распределение векторов полной скорости в продольном сечении камеры сгорания БКЗ160: а) OFA-0%, б) OFA - 10%, в) OFA – 20%.

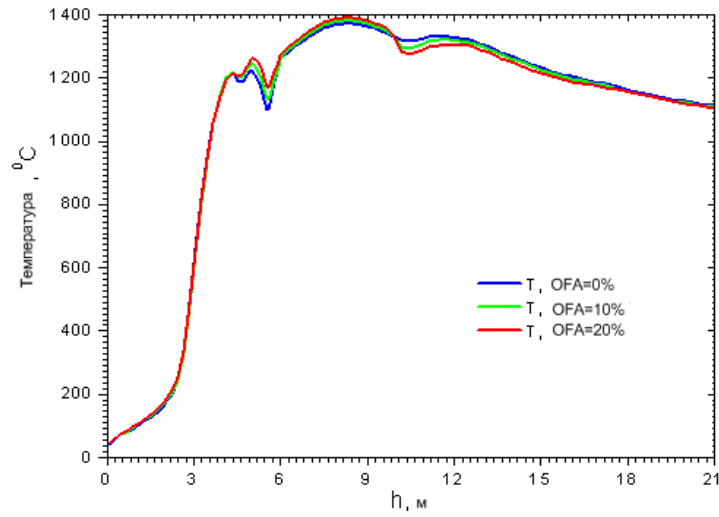


Рис. 6. Влияние OFA на распределение температуры в объеме камеры сгорания БКЗ160.

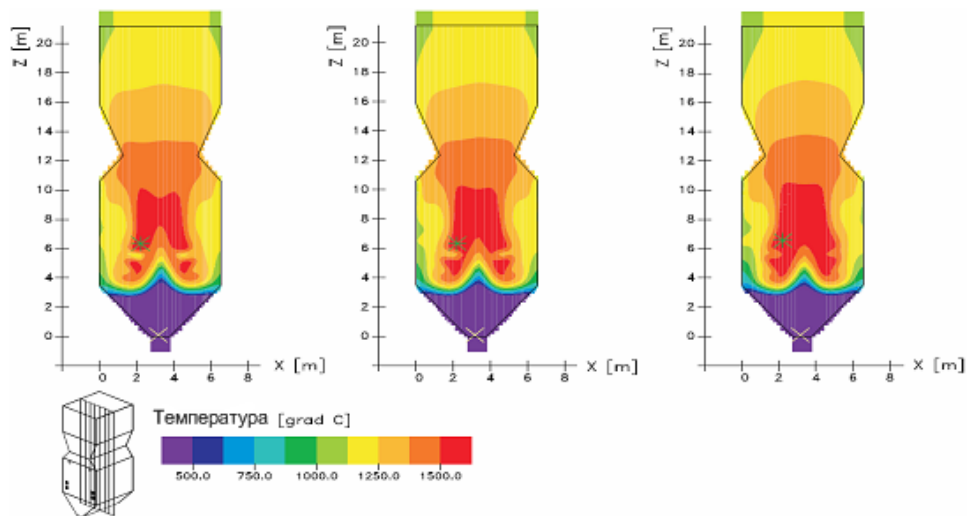


Рис. 7. Влияние OFA на распределение температуры в продольном сечении камеры сгорания БКЗ160: а) OFA - 0%, б) OFA - 10%, в) OFA – 20%

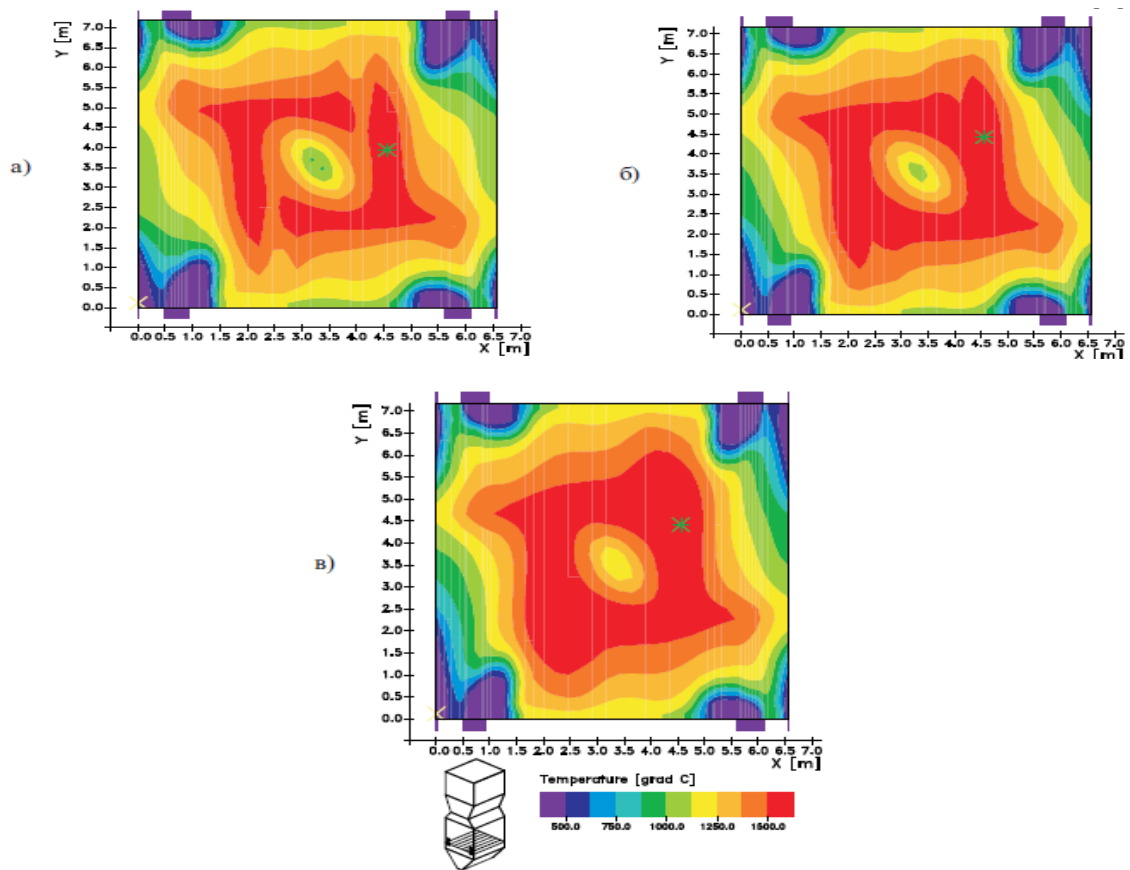


Рис. 8. Влияние OFA на распределение температуры в поперечном сечении камеры сгорания БКЗ160:  
 а) OFA - 0%, б) OFA - 10%, в) OFA – 20%.

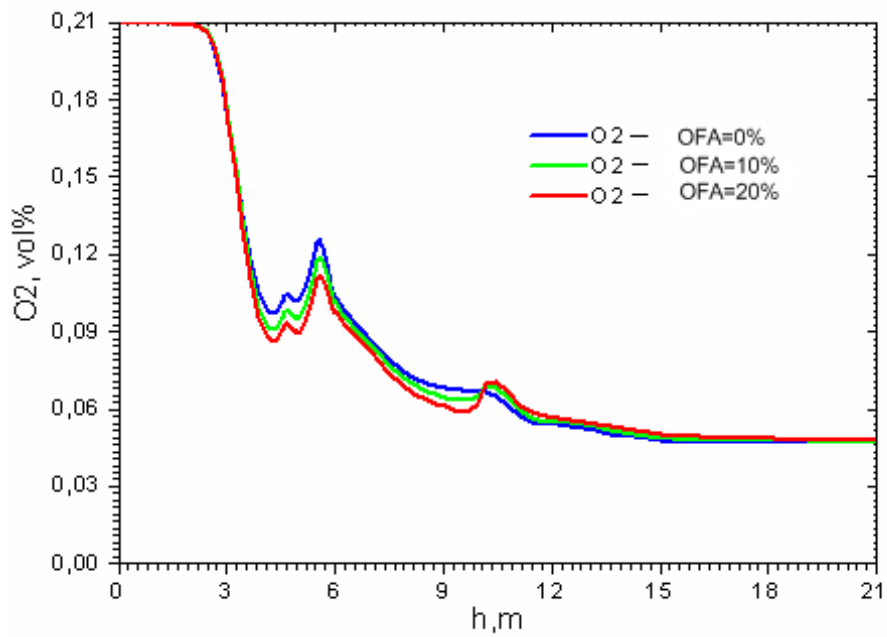


Рис. 9. Влияние OFA на распределение концентрации кислорода  $O_2$  в объеме камеры сгорания БКЗ160.

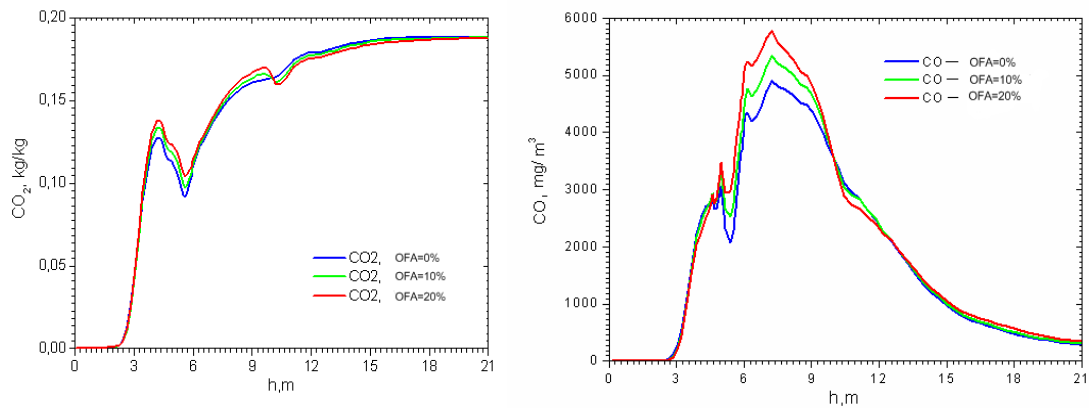


Рис. 10. Влияние OFA на распределение концентрации диоксида углерода CO<sub>2</sub> и CO в объеме камеры сгорания БК3160.

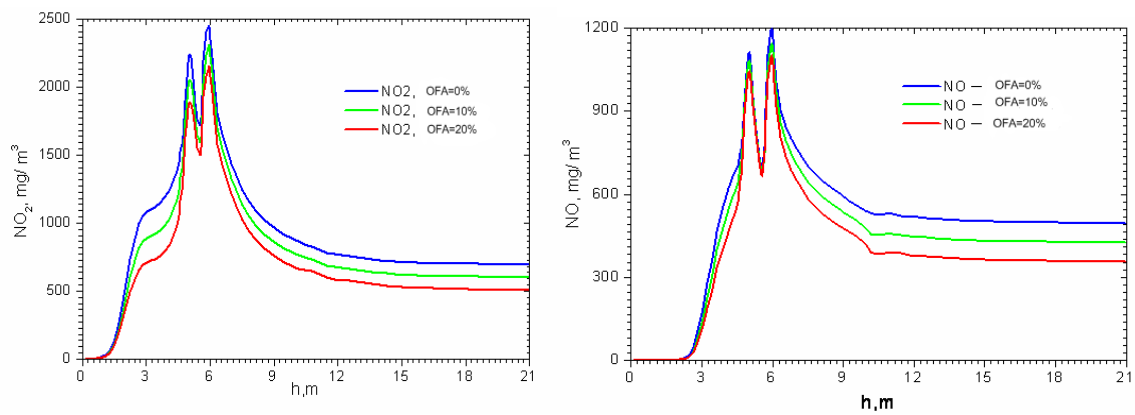


Рис. 11. Влияние OFA на распределение концентрации оксидов азота NO<sub>2</sub> и NO в объеме камеры сгорания БК3160.

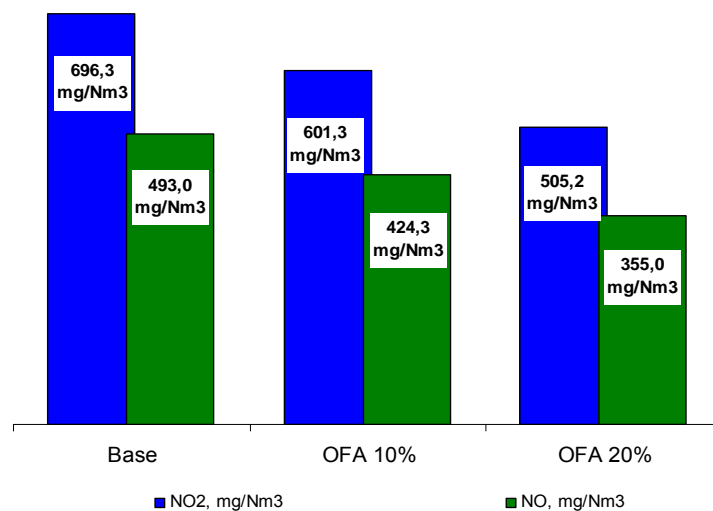


Рис. 12. Влияние OFA на выбросы оксидов азота NO и NO<sub>2</sub> на выходе из камеры сгорания БК3160.

## Выводы

Применение OFA-технологий вызывает снижение концентрации кислорода в области наиболее интенсивного горения (рис. 9), что приводит к повышению температуры пламени в этой области (рис. 6 – 8) и снижению общего коэффициента избытка воздуха в этой зоне. В результате повышения температуры снижается уровень выбросов от неполного сгорания, увеличивается скорость элементарных реакций и повышается качество смешения, что сокращает время пребывания, необходимое для смешения топливного газа и вторичного воздуха горения. [4]

OFA инжекторы наиболее выгодно располагать в области выше основной зоны горения и на максимально возможно большем расстоянии от самой узкой части камер сгорания. При введении дополнительного кислорода воздуха в OFA, наблюдается дальнейшее окисление CO, движущегося в направлении к выходу и таким образом происходит преобразование CO в CO<sub>2</sub>. Кроме того, размещение инжекторов OFA именно в этой области, позволяет интенсифицировать смешивание OFA воздуха с CO в общем потоке горючих газов. А это в свою очередь позволяет максимально возможно преобразовать CO в CO<sub>2</sub> прежде, чем существенная часть CO выйдет из камеры сгорания (рис. 10).

Результаты сравнения базового режима работы и включения, дополнительных OFA инжекторов, проиллюстрированные на рис. 11, показывают, что очевидно наиболее высокие концентрации NO<sub>x</sub> наблюдаются в нижней части камеры сгорания, что характерно для всех вида камер сгорания. Однако, в отличие от базового режима, когда наблюдаются высокие концентрации NO<sub>x</sub> на выходе из камеры сгорания, при организации OFA систем наблюдается существенное снижение оксидов азота по мере приближения к выходу.

На рисунке 13 приведена диаграмма результатов численных исследований по организации процесса горения твердого топлива с учетом технологии OFA и показано снижение в этой связи концентрации оксидов азота на выходе из камеры сгорания. Можно отметить сокращение концентрации NO<sub>x</sub> на 27% при максимальной доле дополнительного воздуха (OFA=20%) по сравнению с базовым режимом сжигания топлива (OFA =0%).

## Литература

1. Askarova A.S., Heierle Yevgeniya, Leithner Reinhard, Mueller Horst CFD Code Florean for Industrial Boilers Simulations // WSEAS TRANSACTIONS on HEAT and MASS TRANSFER, Issue 4, Volume 4, 2009, ISSN: 1790-5044, pp.98-107, 10 p.
2. A.S. Askarova, F.Jirouš, S. Bolegenova, V. Maximov, A. Bekmuhamet Využití technologie «overfire air» při spalování práškového uhlí ve spalovací komoře kotle BKZ–160 almatké teplárny, s cílem snížit emise // J «Energetika», V.1, Praha, Czech Republic, 2012 г., P. 22-26
3. Полежаев В.И., Бунэ А.В. и др. Математическое моделирование конвективного теплообмена на основе уравнений Навье–Стокса. – М.: Наука, 1987. – 272 с.
4. Системы сжигания с низкой эмиссией NO<sub>x</sub>. Программа экологически чистого ископаемого топлива. Информационный буклет. – СИ008. – Март 2005. – 16 с.