

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГОЛЬНЫХ ТЕПЛОСТАНЦИЙ

С.А. Болегенова

НИИЭТФ, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы

В работе описана математическая модель процесса горения твердого топлива в камере сгорания. Разработана физическая модель и описаны технические данные камеры БК3160. На основе полученной математической модели проведено исследование влияния «Overfire Air Technology» на результаты вычислительных экспериментов по моделированию процессов горения в топочной камере.

Модернизация процессов горения различных топлив в камерах сгорания энергетических котлов малой и средней мощности, обеспечивающая более рациональное сжигание топлива, повышение эффективности поверхности теплообмена, приспособление котлов к работе на низкокалорийных и местных видах топлива, экономически более выгодна, чем их полная замена.

В последние годы за рубежом при проектировании и модернизации котлов, промышленных печей и камер сгорания широкое распространение получили компьютерные технологии, основанные на математическом моделировании термогазодинамики внутрикотлового пространства (горение, тепло- и массообмен) с помощью быстродействующей компьютерной техники. Для этой цели разработаны и применяются коммерческие пакеты универсальных программ, использующие последние достижения вычислительной техники, математики, гидродинамики, горения, тепло- и массообмена.

Математическое описание физических и химических процессов основано на решении уравнений баланса. В общем виде все эти уравнения содержат: конвективный член, диффузионный член, источниковый/стоковый член:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) = -\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \Gamma_{\phi, eff} \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) + S_{\phi} \quad (1)$$

Каждый закон сохранения выражен соответствующим дифференциальным уравнением. Каждое уравнение записывается для конкретного физического параметра и учитывает баланс различных факторов, влияющих на изменение величины.

Источниковый или стоковый член  $S_{\phi}$  – алгебраический член, который описывает появление или исчезновение величины  $\Phi$  (например, выделение или поглощение энергии в химических реакциях, образование и разложение продуктов реакции горения и др.)

В данной работе вычислительный эксперимент проводился на основе решения трехмерных уравнений конвективного теплопереноса с учетом распространения тепла, теплового излучения, химических реакций и многофазности среды. Для описания 3<sup>х</sup>-мерного движения реагирующих течений в камере используется система дифференциальных уравнений [1]:

Уравнение баланса массы или уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) \quad (2)$$

Закон сохранения импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) = -\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{i,j}) - \frac{\partial p}{\partial x_j} + \rho f_i \quad (3)$$

Здесь:  $f_i$ - объемные силы;  $\tau_{i,j}$ -тензор напряжений.

Определим начальные и граничные условия для поставленной задачи:  
для скорости:

$$\left. \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right|_{normA} = 0 \text{ - производная, нормальная к плоскости выхода;}$$

$$u_i \Big|_{normS} = 0 \text{ - скорость, нормальная к плоскости симметрии;}$$

$$\left. \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right|_{normS} = 0 \text{ - производная, нормальная к плоскости симметрии;}$$

$$u_i \Big|_{normW} = 0 \text{ - скорость, нормальная к стенке, т.е. нет потока массы;}$$

$$\left. \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right|_{normW} = 0 \text{ - производная, нормальная к стенкам;}$$

$$u_i \Big|_{tang} = 0 \text{ - скорость, тангенциальная к стенкам, условие прилипания;}$$

$$\partial p \Big|_{rand} = 0 \text{ - поправка на давление на границе;}$$

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) = - \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) - \frac{\partial q_i^{res}}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial \tau} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \tau_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + s_q \quad (4)$$

Здесь:  $h$  – энтальпия;  $S_q$  – источник энергии;

Закон сохранения для компоненты вещества:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_\beta) = - \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho c_\beta u_i) - \frac{\partial j_i}{\partial x_i} + R_\beta, \quad (5)$$

где  $i=1, 2, 3$ ;  $j=1, 2, 3$ ;  $\beta=1, 2, 3, \dots, N$ ,  $R_\beta$  - источник вещества.

Для моделирования турбулентной вязкости и замыкания системы использовалась стандартная  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентности.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) = - \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + \Pi - \rho \varepsilon, \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) = - \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \Pi - c_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (7)$$

$$\text{где } \Pi = \left[ \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{i,j} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \quad (8)$$

а также модельное соотношение для турбулентной вязкости:

$$\mu_t = c_\mu \rho k^2 \quad (9)$$

Все уравнения системы записаны для средних значений параметров.

Для проведения вычислительных экспериментов по исследованию влияния OFA технологии выбраны действующие камеры сгорания ТЭС Казахстана: камера сгорания БК3160 Алматинской ТЭС. Организация топочного процесса в выбранных камерах сгорания имеет различный характер проведение вычислительных экспериментов позволит определить эффективность технологии OFA на разных котельных установках.

Камера сгорания БК3160 Алматинской ТЭС имеет расчетную паропроизводительность 160т/ч, при давлении 9,8МПа и температуре перегрева пара 540°C. Тепловая мощность топки 124,4МВт. По боковым сторонам топочной камеры расположены 4 блока прямоточных щелевых горелок, направленных по касательной к центральной окружности.

На рисунке 1 показан общий вид

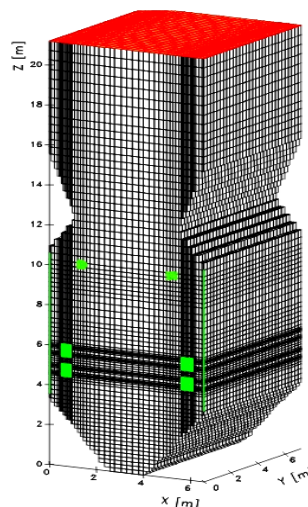


Рис.1. Общий вид топочной камеры котла БК3160 и разбивка ее на контрольные объемы

В нашем случае для исследования влияния OFA выбрано 2 режима: 10% и 20% общего объема воздуха подается через инжекторы в верхней части камеры сгорания. На рисунках 2-5 приведены результаты вычислительных экспериментов.

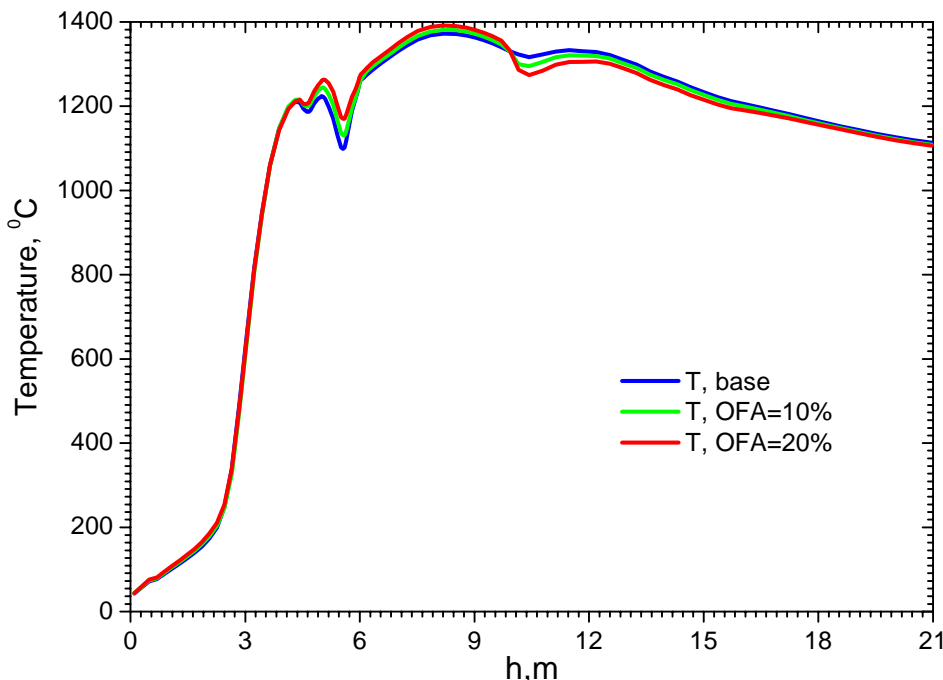


Рис.2. Влияние OFA на распределение температуры в объеме камеры сгорания БК3160

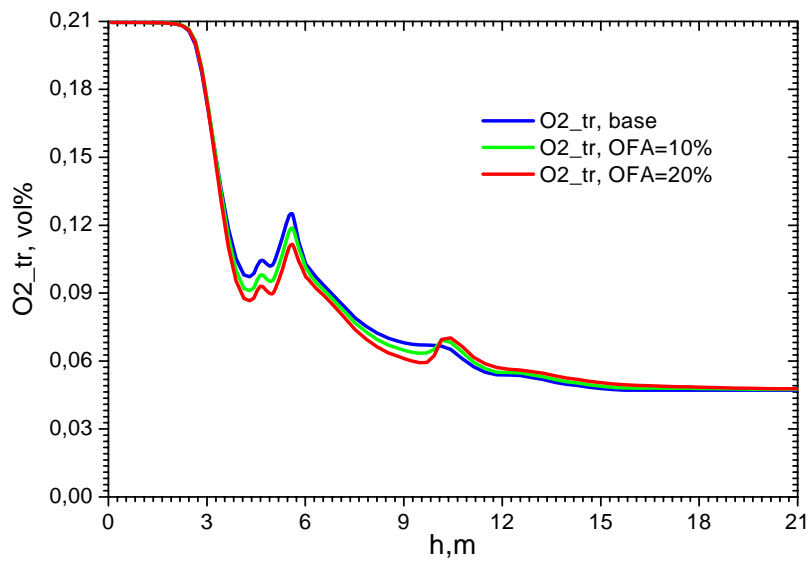


Рис.3. Влияние OFA на распределение концентрации кислорода в объеме камеры сгорания БКЗ160

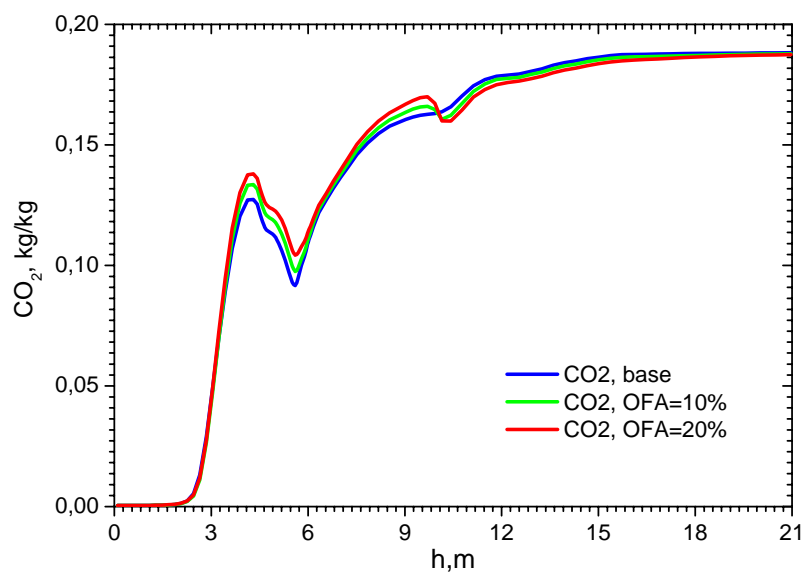


Рис.4. Влияние OFA на распределение концентрации диоксида углерода в объеме камеры сгорания БКЗ160

Снижение концентрации кислорода в области наиболее интенсивного горения приводит к повышению температуры пламени 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. Однако это не приводит к автоматическому снижению уровня выбросов NO<sub>x</sub>. Эффективное снижение выбросов NO<sub>x</sub> может быть обеспечено на следующей стадии, когда воздух инжектируется через OFA.

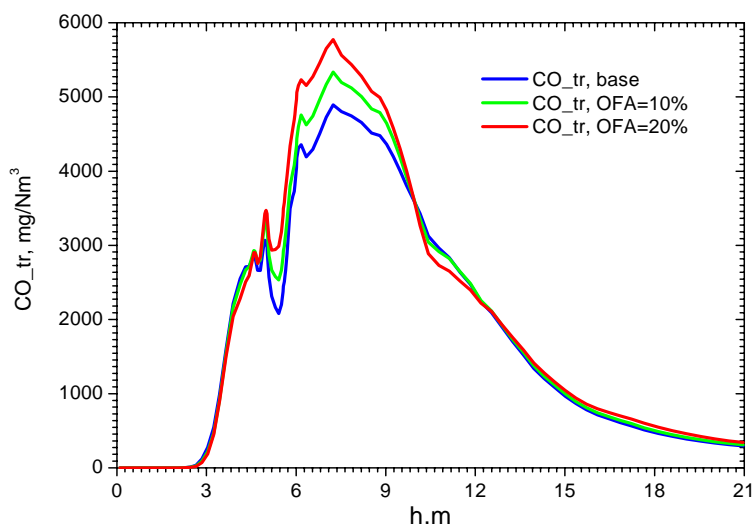


Рис. 5. Влияние OFA на распределение концентрации оксида углерода в объеме камеры сгорания БК3160

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. Таким образом, применение OFA технологии, позволяет не допустить увеличения формирования диоксидов углерода на выходе из камер сгорания.

### Литература

1. Аскарова А.С. Тепломассоперенос при сжигании твердого топлива в промышленных котлах на примере павлодарской ТЭЦ. // Теплофизика и аэромеханика, Новосибирск; 2001. - Т. 7, № 2. - С.293-300.

### КӨМІР ЖЫЛУ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ЖЫЛУЛЫҚ ЖӘНЕ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН КОМПЬЮТЕРЛІК ҮЛГІЛЕУ

С.А. Бөлегенова

Жану камерасында қатты отынның жану процесінің математикалық моделі көрсетілді. БК3160 қазанының техникалық сипаттамасы және физикалық моделі өңделді. Жану камерасында отынның жану процесі моделінің сандық тәжірибе нәтижесінде «Overfire Air Technology» әсеріне зерттеу жүргізіліп математикалық моделі алынды.

### COMPUTER MODELLING OF THERMAL AND AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF COAL HEATSTATION

S.A. Bolegenova

In this paper we have described a mathematical model of the process of burning solid fuel in the combustion chamber. The physical model has developed and the technical details BKZ160 camera have described. A study the effect of «Overfire Air Technology» on the results of computational experiments on the modeling of combustion in the combustion chamber was conducted on the basis of the mathematical model.