

# ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ФАКЕЛЬНОМ СЖИГАНИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Е.А. Зуева

Томский политехнический университет

ЭНИН, ПГС и ПГУ, группа 5В31

Защита атмосферного воздуха от загрязнений является одной из наиболее острых проблем современности. Быстрый рост потребления энергии сопровождается, как известно, увеличением вредных выбросов, загрязняющих окружающую среду.

Тепловые электростанции и котельные, потребляя огромное количество органического топлива, выбрасывают в атмосферу продукты сгорания, содержащие твердые частицы, оксиды серы, азота и углерода. Наиболее опасными из ранее перечисленных выбросов, являются выбросы оксидов азота, которые пагубно влияют на здоровье людей и являются толчком для протекания необратимых процессов изменения природы, которые могут стать причиной экологических катастроф.

Ежегодно требования к экологической безопасности ужесточаются. Согласно ГОСТ Р 50831-95 [1] выбросы оксидов азота для ТЭС, которые будут работать после 2016 года должны составлять не более  $200 \text{ мг/м}^3$  для твердых топлив (при мощности  $> 300 \text{ МВт}$ ). В связи с этим одной из основных проблем для проектировщиков становится обеспечение установленных санитарными органами предельно допустимых концентраций газообразных примесей (в первую очередь - оксидов азота) в атмосферном воздухе как для новых, так уже и для работающих станций.

В настоящее время известны разные способы борьбы с выбросами оксидов азота: сжигание топлива с малым коэффициентом избытка воздуха, рециркуляция дымовых газов, многоступенчатое сжигание, впрыск воды, выключение из работы одной или нескольких горелок (снижение паропроизводительности) и др. [2].

Для оптимизации процесса проектирования и уменьшения стоимости исследования использование численного моделирования является малозатратным решением рассматриваемой проблемы с возможностью проработать несколько вариантов. Это позволит проанализировать выбросы азота уже на этапе проектирования.

В последнее время на рынке программных обеспечений появилось множество продуктов, позволяющих смоделировать и оценить вредные выбросы. Пакеты прикладных программ отличаются по стоимости и по точности конечного результата.

Целью данной работы является сравнение программных продуктов при численной оценке генерации оксидов азота при сжигании угольной пыли. Для сравнения были выбраны следующие программные продукты:  $\text{NO}_2$  и FIRE 3D- $\text{NO}_x$ .

Программа для расчета выбросов оксидов азота  $\text{NO}_x$  основана на методике [3]. Данная программа представляет собой математическую модель. В качестве исходных данных в данной программе могут быть использованы результаты поверочного расчета котельного агрегата.

Пакет прикладных программ FIRE-3D- $\text{NO}_x$ , представляет собой одномерную математическую модель, физическая постановка задачи и кинетическая схема которой представлены в [4, 5].

Объектом исследования выбрана топочная камера парового котла марки БКЗ-320-140-ПТ, в которой сжигается Ирша-бородинский уголь Канско-Ачинского месторождения. Паровой котел БКЗ-320-140-ПТ вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией, П-образной компоновки. Топка котельного агрегата полуоткрытая с жидким шлакоудалением, состоит из двух сообщающихся восьмигранных предтопок. Каждый из предтопок оборудован четырьмя прямоточными двухъярусными горелками. В «пережиме» расположены сбросные горелки. (рис 1.)

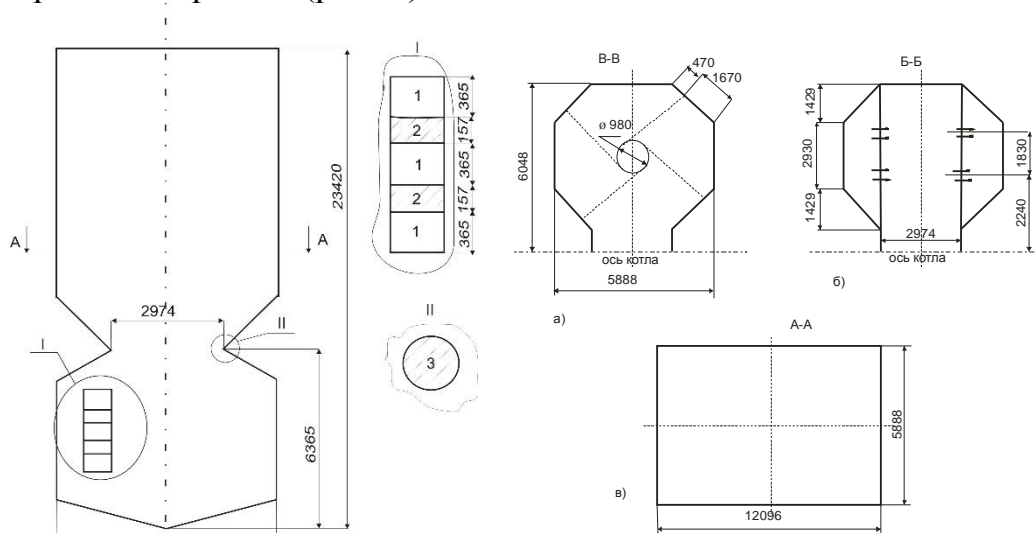


Рис. 1. Геометрические характеристики топки котла БКЗ– 320– 140 [6]: а) горизонтальное сечение камеры горения на уровне горелок; б) горизонтальное сечение пережима топочной камеры; в) горизонтальное сечение камеры охлаждения 1 – подача вторичного воздуха, 2 – подача топливной аэросмеси, 3 – подача сушильного агента

При работе с программными продуктами были выбраны следующие методы борьбы с выбросами азота: изменение паропроизводительности котельного агрегата и ступенчатое сжигание твердого топлива.

В ППП FIRE 3D- $\text{NO}_x$  варьирование избытком воздуха в топке достигалось за счет изменения скорости подачи вторичного воздуха с фиксированным расходом топлива на котел, изменение нагрузки – изменением расхода топлива на котел с постоянным избытком воздуха, ступенчатое сжигание – перераспределением количества топлива по ярусам горелок при постоянных расходе топлива на котел и избытке воздуха. В качестве показателя организации ступенчатого сжигания принято отношение  $\delta = V_1/V_p$ , где  $V_1$  – расход топлива на нижний ярус,  $V_p$  – расход топлива на котел.

При изменении нагрузки котла в диапазоне 220–320 т/ч концентрация оксидов азота возрастает на  $120 \text{ мг/м}^3$  (рис. 2) за счет повышения температурного уровня в топочной камере (температура на выходе из топки изменялась от  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $1217 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

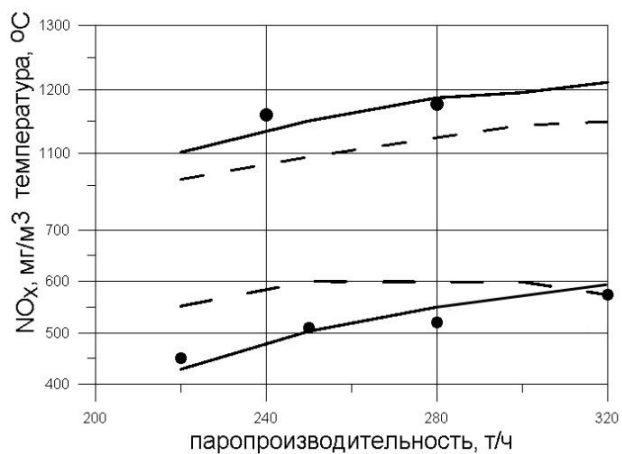


Рис. 2. Изменение температуры на выходе из топки и концентрации  $\text{NO}_x$  от паропроизводительности: ● – измерения [7], — — — расчет с помощью ППП FIRE 3D- $\text{NO}_x$ , — — — расчет по методу [3]

Исследуемый диапазон изменения нагрузки, как у всякого котла с жидким шлакоудалением ограничен температурным уровнем, который обеспечивает надежный выход жидкого шлака, показывает эффективное влияние задействованных средств подавления образования оксидов азота и дает базу для сравнения с другими варьируемыми параметрами топочного процесса.

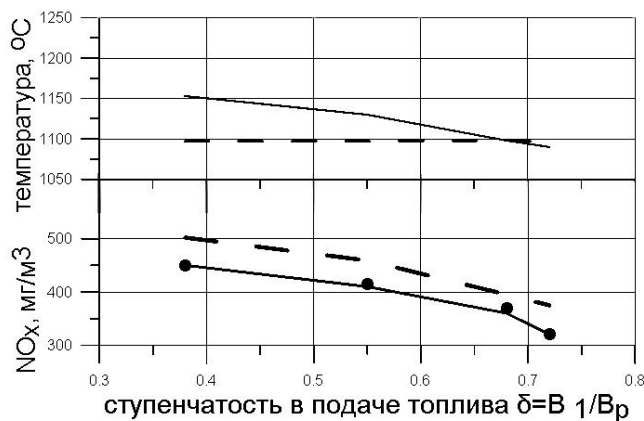


Рис. 3. Изменение температуры на выходе из топки и концентрации оксидов азота от ступенчатости подачи топлива: ● – измерения [7], — — — расчет с помощью ППП FIRE 3D- $\text{NO}_x$ , — — — расчет по методу [3]

При изменении показателя распределения топлива при ступенчатом сжигании от 0,38 до 0,72 результаты численного исследования и натурных измерений имеют достаточно близкие значения (рис. 3). Увеличение подачи топлива на нижний ярус для данного котлоагрегата является оптимальным средством подавления оксидов азота в топке:  $\text{NO}_x$  уменьшается на 20% ( $100\text{--}150 \text{ мг/м}^3$ ).

Подход, основанный на ступенчатой организации сжигания, обеспечивает температуру в зоне горения на достаточном высоком уровне и тем самым нормальное жидкое шлакоудаление. Поэтому в отличие от других способов он может использоваться для стабилизации выбросов в сочетании с изменением

нагрузки котла, компенсируя, например, таким образом образование  $\text{NO}_x$  при ее увеличении.

Выводы.

Применение ППП FIRE 3D- $\text{NO}_x$  является эффективным инструментом для прогнозирования генерации оксидов азота в пылеугольных топках котлов по сравнению с ППП  $\text{NO}_x$ , что подтверждено результатами тестовых числительных экспериментов, показавших хорошую сходимость с данными натуральных измерений. Так как ППП FIRE 3D- $\text{NO}_x$  учитывает информацию о протекании процессов выхода и горения летучих топлива, догорания коксового остатка, учитывать неизотермичность, турбулентную диффузию и перенос компонентов топочной среды осредненным движением.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 50831-95 «Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования».
2. Котлер В.Р. и др. Оксиды азота в дымовых газах котлов / Котлер В.Р., Липов Ю.М., Шлейфер Б.М – М.: Энергоатомиздат, 1987 – 144 с., ил.
3. Безгрешнов А.Н. Расчет паровых котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.
4. Mitchell J.W., Tarbell J.M. A kinetic model of nitric oxide formation during coal combustion // American Institute of Chemical Engineers Journal. – 1982. – V. 28. – № 2. – P. 302–310.
5. Визгавлюст, Н.В. Моделирование образования оксидов азота в пылеугольных топках при сжигании органического топлива / Н.В. Визгавлюст // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 4. – С. 57–61.
6. Будилов О.И., Заворин А.С. Опыт улучшения экологических характеристик тепловой электростанции. – Томск.: Изд-во «Красное знамя», 1994. – 100с.
7. Исследование топочного процесса на котле ПК-39-2 блока 300МВт Ермаковской ГРЭС при сжигании экибастузских углей по схеме прямого вдувания. – Отчет о НИР ОРГРЭС. Сибирское отделение; науч. рук. Серант Ф.А. – Новосибирск, 1975. – 264с.

Научный руководитель: Н.В. Визгавлюст, к.т.н. старший преподаватель каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.