

УДК 536.46:532.517.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ БКЗ-75 ШАХТИНСКОЙ ТЭЦ

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

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

В данной работе исследованы процессы формирования вредных веществ при горении низкосортного угля в камере сгорания котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ. Численно решена система трехмерных дифференциальных уравнений турбулентного переноса. Получены основные концентрационные характеристики процесса горения и формирования вредных азотосодержащих веществ.

Проблемы теплофизики и теплоэнергетики вызывают огромный интерес и имеют ценность для практики. Актуальность данной проблемы и растущее внимание к ней связаны с повышением эффективности использования энергии и с решением экологических проблем, с работой действующих энергетических установок, с созданием новых камер сгорания, с увеличением количества загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу [1].

Участие энергетических предприятий в загрязнении окружающей среды продуктами сгорания топлива, твердыми отходами велико. Это, прежде всего, электростанции, работающие на твердом топливе и являющиеся основным источником загрязнения воздуха, воды и почвы. В атмосферу Казахстана выбрасываются такие вещества как оксид углерода, оксид азота, диоксид азота, пыль, свинец, диоксид серы и т.д., которые наносят существенный вред человеческому организму.

Эта проблема может быть решена только на основе физического, математического и химического моделирования. В этой связи численный эксперимент становится одним из наиболее экономичных и удобных способов для детального анализа сложных физических и химических явлений, происходящих в топочной камере. Использование современных супер-эвм (SUN) позволяет решать эти задачи для конкретных энергетических установок (ТЭС, ГРЭС и т.д.) и для любого энергетического топлива [2].

Теплоэнергетика Казахстана ориентирована на использование высокозольных углей (до 55%). Использование такого угля приводит к неустойчивому горению, возникают проблемы ошлакования и защиты атмосферы от выбросов золы, окиси углерода (СО), оксидов азота (NO и NO₂), оксидов серы (SO₂ и SO₃), соединений углеводородов и др.

Для решения этой проблемы необходим точный расчет аэродинамики и характеристик процесса конвективного теплопереноса в реагирующих многофазных потоках. Поэтому необходимо провести подробное теоретическое исследование процесса теплообмена при сжигании энергетического топлива в топочных камерах.

К настоящему времени среди методов моделирования горения топлива (газообразного, распыленной жидкости и пылеугольного) наибольшее распространение получил метод, в основе которого лежит эйлеров подход для описания движения и тепломассообмена газовой фазы. Этот метод использует пространственные уравнения баланса массы, импульса, концентраций газовых компонентов и энергий для газовой смеси, и лагранжев подход для описания движения и тепломассообмена одиночных частиц топлив вдоль их траекторий. Турбулентная структура потока описывается двухпараметрической $k - \varepsilon$ моделью турбулентности. Радиационный теплообмен представляется либо шестипоточной моделью, либо моделью дискретного переноса.

Математическое описание физических и химических процессов основано на решении уравнений баланса. В общем виде все эти уравнения содержат 4 члена:

- изменение со временем (1-ая производная по времени);
- конвективный член (1-ая производная от скорости);
- диффузионный член (2-ая производная от скорости);
- источниковый/стоковый член (алгебраический член),

и могут быть записаны в общем виде как:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) = -\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \Phi) + (\Gamma_\Phi \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_i^2}) + S_\Phi. \quad (1)$$

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

Модель сжигания угольной пыли, используемая в данной работе, учитывает интегральные реакции окисления компонентов топлива до стабильных конечных продуктов реакции. Использование в работе модели интегральной реакции основано на том, что многие химические реакции протекают в несколько ступеней, самая медленная из которых определяет скорость всей реакции.

Скорость реакции можно записать в виде:

$$\dot{\omega}_B = \frac{dc_{AB}}{dt} = k(T)c_A c_B. \quad (2)$$

Были проведены вычислительные эксперименты на примере высокозольного Карагандинского рядового угля КР200 в топочной камере действующего котла БКЗ-75, Шахтинской ТЭЦ. Метод исследования, предложенный нами, позволяет проводить такие численные эксперименты с любым твердым топливом на любых действующих электростанциях.

Были получены распределения температуры в объеме топочной камеры и концентраций реагирующих веществ, таких как NO, HCN и NO₂.

Количество образующихся оксидов азота зависит от характеристики топлива и от конструкционного исполнения топочной камеры, поэтому на стадии проектирования камер сгорания необходимо провести расчет ожидаемых выбросов азота и предусмотреть меры по снижению их до величин, максимально приближающихся к нормативам удельных выбросов NO_x в атмосферу.

Картина распределения концентрации азотосодержащих компонентов представлена на рис. 1, 2.

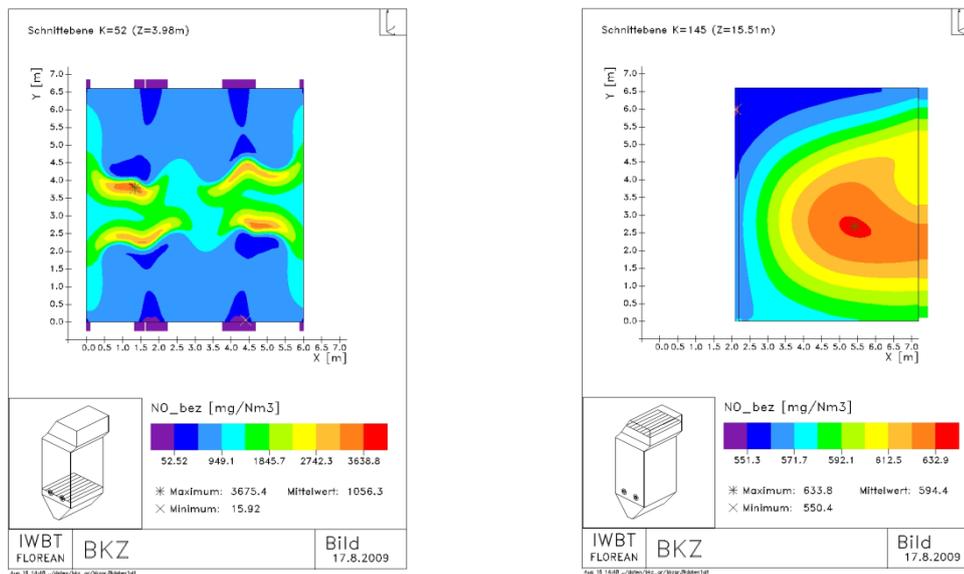


Рис. 1. Распределение концентрации NO в центральном сечении и на выходе из камеры сгорания БКЗ-75

Как видно из представленных графиков наиболее интенсивное газообразование основных азотосодержащих компонентов происходит в области распространения потоков из горелок, что соответствует реальной картине процесса в камере сгорания.

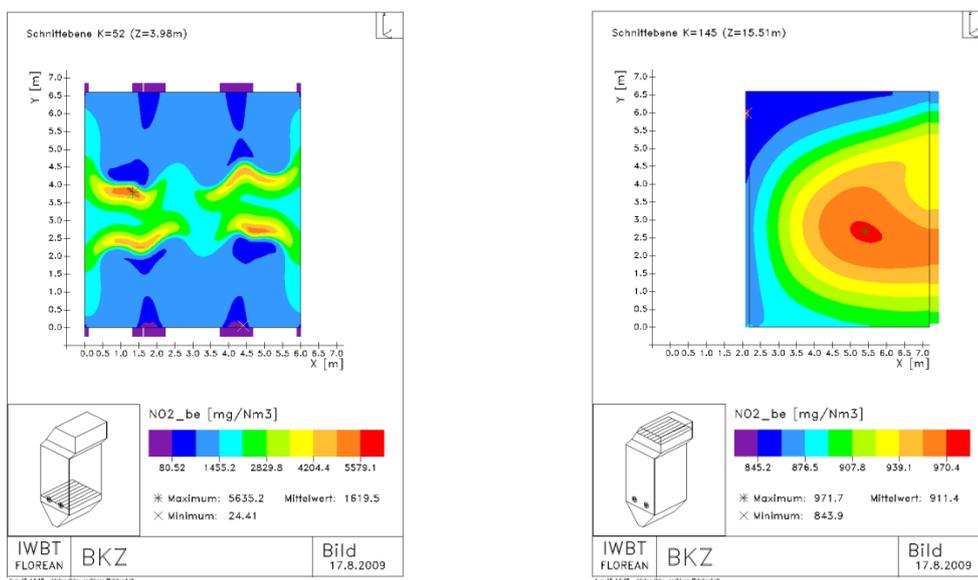


Рис. 2. Распределение концентрации NO₂ в области горелок и на выходе из камеры сгорания БКЗ-75

Характер распределения концентраций в этих плоскостях носит нелинейный характере процесса образования указанных веществ в этой области.

Полученные в работе результаты могут быть положены в основу разработки конкретных рекомендаций по организации процесса "чистого" сжигания твердого топлива.

Это в свою очередь позволит в значительной степени снизить вредные пылегазовые выбросы в атмосферу с целью эффективного развития топливно-энергетических предприятий и снижения до минимума вредного антропогенного воздействия ТЭС на окружающую среду.

В результате проведения вычислительного эксперимента был получен обширный банк всевозможных характеристик топочного процесса: аэродинамика, температура, давление, поле концентраций газового состава продуктов горения. Показано, что именно в области расположения горелок, где происходит как подача пылеугольной пыли с определенной концентрацией углерода, так и воздуха с определенным значением концентрации углерода процессы образования угарного газа протекают наиболее интенсивно. В этой области происходят основные реакции реагирования углерода, о чем свидетельствуют максимумы температуры, концентрации СО и азотосодержащих веществ.

Получено, что при сжигании угля четыре факела образуют в центральной области топки общее ядро факела с температурой порядка 1200°С, т.к. угольные частицы в этой области обладают более интенсивным излучением и имеют более высокую концентрацию и суммарную поверхность, что отвечает реальному протеканию процессов в камере сгорания ТЭС.

На выходе из камеры сгорания получена концентрация вредных веществ удовлетворяющая ПДК.

Литература

1. Askarova A.S., Heierle Ye., Leithner R., Müller H. CFD simulationen der NO_x production in Kohlenstaub-befeuerten Brennkammern. VDI-Berichte 2056, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2009, S.575-579.
2. Askarova A.S., Bolegenova S., Bekmukhamet A., Maximov V. 3D modeling of heat and mass transfer in industrial boilers of Kazakhstan power plant // 2nd International Conference on Mechanical, Production and automobile Engineering (ICMPAE-'2012), Singapore, April 2012, pp.217-220
3. Müller H. Numerische Berechnung dreidimensionaler turbulenter Strömungen in Dampferzeugern mit Wärmeübergang und chemischen Reaktionen am Beispiel des SNCR-Verfahrens und der Kohleverbrennung: Fortschritt-Berichte VDI-Verlag. –1992. – Reihe 6, №268. – 158 s.