ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ УГЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КИНЕТИЧЕСКИХ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ АЗОТИСТЫХ ВЕЩЕСТВ

А.С. Аскарлова, С.А. Болегенова, В.Ю. Максимов, М.Т. Бекетаева
КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Изучение закономерностей химически реагирующих течений имеет фундаментальное значение при построении теории физики горения и взрыва, а также огромную прикладную значимость при создании новых физико-химических технологий и при разработке технологических процессов и систем с рациональным использованием энергетических ресурсов [1-2]. В этой связи проведение вычислительных экспериментов по исследованию процессов сжигания топлив является наиболее приемлемым методом, который может дать полную информацию о характере сложных процессов тепломассопереноса без особых финансовых, временных и трудовых затрат [3]. Однако, физико-математическая постановка задачи о горении топлива сопровождается рядом сложностей, связанных с построением химической модели сгорания топлива, с точностью и адекватностью ожидаемых результатов [4].

Горение угольного топлива является сложным физико-химическим процессом, сопровождающимся выделением большого количества тепла и продуктов сгорания, где самыми вредными компонентами считаются азотосодержащие вещества.

Уголь – это гетерогенный, комплексный минерал, где азот N связан с органическим веществом. Во время цикла углефикации, содержание азота в угольном веществе незначительно меняется. Содержание азота в угле обычно составляет от 0,5% до 2%; в каменных углях от 1% до 2%, в антрацитах 1,5-1,75% и менее 1%. Наличие азота в угле еще полностью не было объяснено и описано. Существуют гораздо больше знаний о структуре серы и кислорода, чем о топливном азоте. Трудности, с которыми приходится сталкиваться при исследованиях, это структурное содержание азота в твердом топливе. Использование косвенных методов анализа позволило определить присутствие высокотемпературных угольных экстрактов или угольных смол, что в свою очередь повысило значимость проблем химической кинетики формирования окислов азота, а также вопросов расчета образования и выбросов в атмосферу азотистых веществ при сжигании угля.

Механизм горения угольного топлива проходит в три этапа: нагрев и сушка, выход летучих веществ и сгорание коксового остатка. При этом происходят интенсивные химические реакции с выделением продуктов сгорания с большими количествами энергии. Окислы азота в угольном факеле производятся десятками видов и сотнями участвующими реакциями по трем известным основным механизмам: термическому, быстрому и топливному. При сжигании угля около 85% составляют топливные окислы азота, 0,5% – быстрые окислы азота, а 15% – термические.

Термические воздушные окислы азота образуются при высоких температурах (выше 1600K) по механизму Я.Б. Зельдовича. Скорость образования термических при этом пропорциональна и зависит, прежде всего, от температурного уровня процесса, а также от концентрации кислорода. Быстрые воздушные окислы азота образуются во фронте горения при сравнительно низких температурах ($T \sim 1000K$) в результате реакций углеводородных радикалов с азотом N_2 воздуха и последующего взаимодействия азотсодержащих и кислородсодержащих радикалов. При сжигании твердого топлива доля быстрых окислов азота незначительна (менее 10-15%). Таким образом, при сжигании твердого топлива необходимо подавлять топливные и термические NO_x .

Термические окислы азота производятся в высокотемпературных областях при температуре выше 1600-1800K, поэтому для нас наибольший интерес представляет изучение формирования окислов азота по топливному механизму. При горении азота, органически связанного с топливом, должны учитываться все факторы, которые могут

повлиять на протекание химических реакций между топливом и окислителем (кислород в составе воздуха). Такими факторами могут быть: размеры частиц, доля минеральной части в топливе (в частности зольность), избыток воздуха, чувствительность к малым температурным возмущениям в реакционной области и другие [5].

Исследования показали, что химическая кинетика для разного ранга углей при различных условиях связана с различными схемами. Влияние многих немаловажных факторов учитываются в различных химико-кинетических моделях горения топлив. В работе для изучения их образования и разложения были проведены вычислительные эксперименты с использованием двух химических моделей формирования и деструкции окислов азота: De Soete и Mitchell-Tarbell [6-7].

Для моделирования горения был выбран уголь Карагандинского бассейна, который характеризуется высокой степенью зольности (выше 35%). Его химический состав: С – 33.87%, Н₂ – 6.63%, S – 1.92%, N₂ – 2.23%, O₂ – 9.65%, W – 10.60%, А – 35.1%. Горение топлива была смоделирована для камеры сгорания реальной энергетической установки. Исследования проводились с использованием пакета компьютерных программ Флореан, разработанного в Германии [8].

В результате исследований были получены расчетные данные по аэродинамике высокотемпературных потоков, температурные и концентрационные поля. Анализируя результаты, можно утверждать, что процесс тепломассопереноса в высокотемпературных потоках зависит от аэродинамической картины и тепловых характеристик процесса горения. А для проведения вычислительных экспериментов по исследованию концентрационных характеристик формирования окислов азота NO_x при сжигании казахстанских углей предпочтительным является использование модели Mitchell-Tarbell.

Результаты, полученные в данной работе, имеют значительную прикладную ценность для специалистов инженеров и энергетиков. Использование методики расчета может быть полезно при разработке новых технологических приемов, при создании новых и усовершенствовании уже действующих камер сгорания энергетических объектов с целью эффективного и экологически чистого сжигания высокозольного угля.

Использованная литература:

1. Askarova A., Bekmukhamet A., Bolegenova S., Ospanova S., Maximov V., Beketayeva M., Ergalieva A. 3-D Modeling of Heat and Mass Transfer during Combustion of Solid Fuel in BKZ-420-140-7C Combustion Chamber of Kazakhstan // Journal of Applied Fluid Mechanics. - 2016. - Vol.9, №2. - P.699-709.
2. Askarova A., Maximov V., Beketayeva M., Safarik P., et al. Numerical Modeling of Pulverized Coal Combustion at Thermal Power Plant Boilers // Journal of thermal science. – 2015. – Vol. 24, issue 3. – P. 275-282.
3. Askarova A., Bolegenova S., Maximov V., Bekmukhamet A., Beketayeva M., Gabitova Z., et al. Computational method for investigation of solid fuel combustion in combustion chambers of a heat power plant // High temperature. – 2015. - Vol. 5, issue 5. – P. 751-757.
4. Askarova A., Bolegenova S., Bolegenova S., Maximov V., Beketayeva M. Influence of boundary conditions to heat and mass transfer processes // International journal of mechanics. - 2016. - Vol.10. - P. 320-325.
5. Glarborg P., Jensen A., Johnsson J. Fuel nitrogen conversion in solid fuel fired systems. Progress in Energy and Combustion Science. 2003. – 29(2). – P. 89–113.
6. De Soete G. Overall reaction rates of NO and N₂ formation from fuel nitrogen // 15th international symposium on combustion. - Pittsburgh, 1975. – P. 1093-1102.
7. Mitchell J., Tarbell J. A kinetic model of nitric oxide formation during pulverized coal combustion // AIChE Journal. – 1982. – Vol.28. – P. 302–320.
8. Müller H. Numerische Simulation von Feuerungen. CFD. – Vorlesung, TU, 1997.