

УДК 621.225

А.Л.Липьяйнен (5 курс, каф. ПМ), А.Ю.Снегирёв, д.т.н., проф.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ГОРЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ПРЯМОТОЧНО-ВИХРЕВОЙ ГОРЕЛКЕ

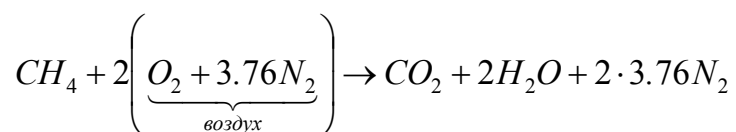
Наряду с натурными испытаниями, математическое моделирование представляет собой перспективный путь для оптимизации конструкции промышленных газовых горелок, а именно улучшение энергетической эффективности, обеспечение устойчивости работы и экологической безопасности – снижение выбросов NO_x и CO .

Целями данной работы является численное моделирование турбулентного диффузионного пламени природного газа, создаваемого прямоточно-вихревой горелкой нового типа; определение полей скорости, температуры, концентраций компонентов, формы факела, отклика на изменение режимных параметров (расходы горючего и окислителя); сравнительный анализ и выбор оптимальных моделей турбулентности и горения.

Конструкция горелки (рис. 1) представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого расположены завихрители воздуха (крыльчатка) и каналы для подачи горючего газа (на вход газораспределяющих трубок с заданным массовым расходом поступает метан при температуре 20°C).

Рассматривается сценарий, когда факел формируется в неограниченном пространстве (нет взаимодействия с другими факелами и стенками топочного объёма). Таким образом, расчётная область представляет собой надстроенный над горелкой параллелепипед, одна из граней (нижняя стенка) которого является твёрдой непроницаемой поверхностью, а остальные открыты в окружающую среду: по бокам задаётся возможность свободного протекания топочных газов, а на выходе задаётся возможность свободного вытекания газа и нулевое противодавление. Снизу поступает горячий воздух (задана температура 322°C) с заданным массовым расходом. На стенке задаются условия прилипания (нулевая скорость) и нулевой поток тепла (теплоизолированная поверхность).

В расчётной области методом конечных объёмов решается осредненная по Фавру система уравнений Навье-Стокса турбулентного многокомпонентного реагирующего течения. Замыкание системы – моделирование турбулентности ($k-\varepsilon$ модель) и горения. Рассматривался диффузионный режим горения – химическая реакция и транспорт компонентов в зону реакции протекают одновременно. Горючий газ – чистый метан, окислитель – воздух, реакция – необратимая, одностадийная:



Скорость выгорания горючего описывается в рамках модели дробления вихрей (eddy-dissipation concept). Система решается в существенно дозвуковом приближении. В расчётах

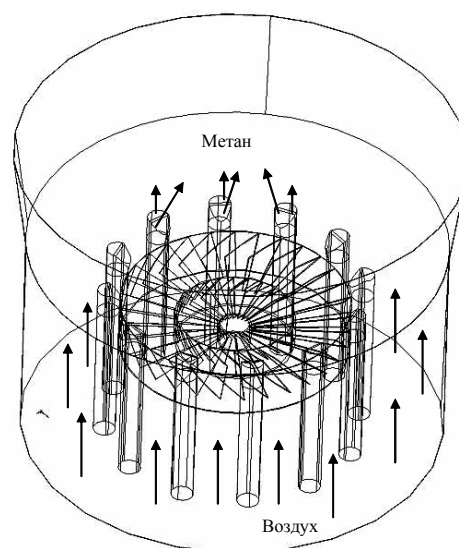
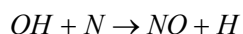
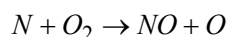
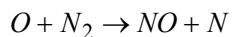


Рис. 1. Прямоточно-вихревая горелка

используется приближённая модель образования окислов азота – механизм Зельдовича (Thermal NO):



Математическая модель реализована средствами вычислительного комплекса CFX 5.7. В расчётах использован многопроцессорный кластер лаборатории «Прикладная математика» (8 процессоров Intel Xeon 2800), а также мощные однопроцессорные рабочие станции.

В связи с большой сложностью геометрии расчётной области, для её триангуляции использована технология композитных структурированных сеток. Расчётная область разбивается на отдельные подобласти, которые триангулируются независимо друг от друга, а затем при расчёте данные передаются между подобластями при помощи интерполяции.

Результатами расчетов являются стационарные поля основных характеристик в турбулентном диффузионном факеле прямоточно-вихревой горелки (рис. 2, 3), а также оценочные расчеты окислов азота NO (рис. 4) и рециркуляционная зона, стабилизирующая факел (рис. 5).

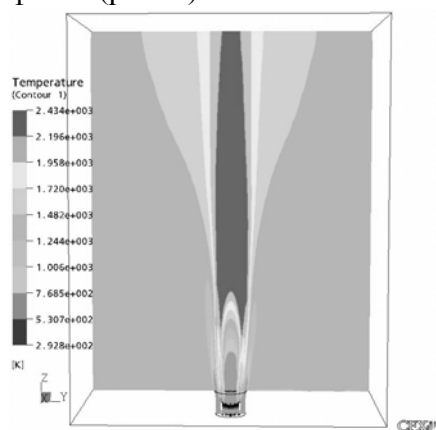


Рис. 2. Поле температуры

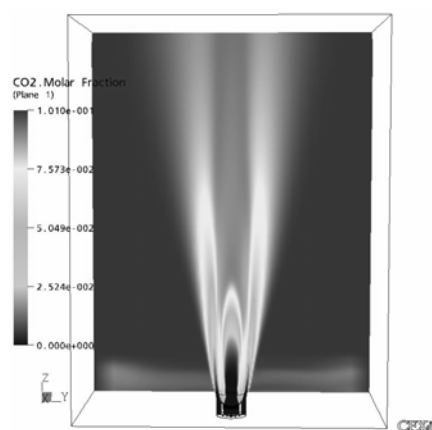


Рис. 3. Молярная доля CO₂

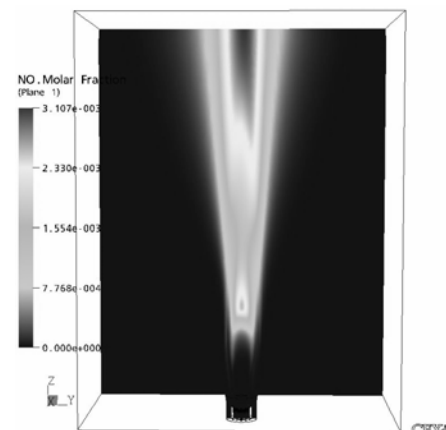


Рис. 4. Молярная доля NO

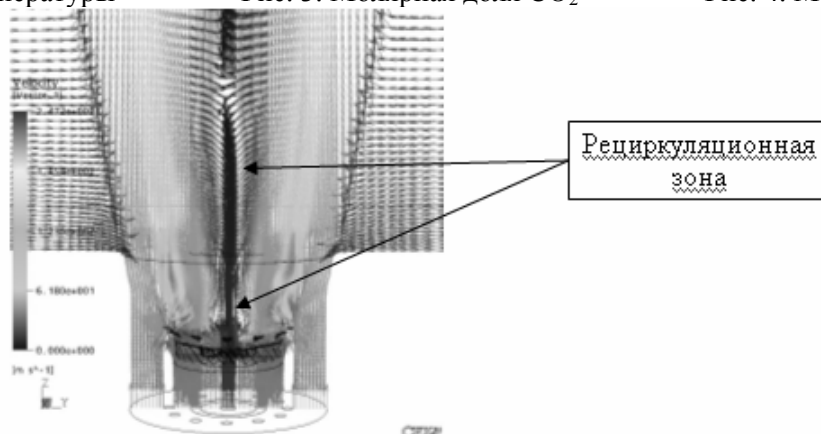


Рис. 5. Поток через горелку

Помимо этого, выполнен анализ влияния разрешающей способности расчётной сетки, влияния модели турбулентности на форму и структуру факела, в том числе на температуру и концентрацию продуктов сгорания.