

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В ВОСХОДЯЩЕМ ПОТОКЕ ОКИСЛИТЕЛЯ

Д.В. Гринченков, к.т.н., доц, В.А. Старостенко, магистрантка

Научный руководитель – Д.В. Гринченков, к.т.н., доц.

E-mail: grindv@yandex.ru, lerokstar94@yandex.ru

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени  
М.И. Платова, г.Новочеркасск

Согласно прогнозам ученых, наиболее быстрыми темпами в ближайшее время будут развиваться мощности ТЭС на угле, а также на природном газе. Поэтому совершенствованию и внедрению новых эффективных технологий для ТЭС на твердом и газообразном топливе уделяется наибольшее внимание.

Одним из перспективных направлений является газификация угля. Привлекательной особенностью газификации является возможность переработки низкосортных видов угля с высоким содержанием смол и золы в электричество, водород и другие ценные энергетические продукты, а также возможность существенного снижения вредных выбросов в атмосферу.

Проектированию газификационных установок предшествует моделирование. Для моделирования процесса газификации низкокачественного топлива в восходящем потоке окислителя была разработана математическая модель, позволяющая выполнить теоретический анализ эффективности применения данной технологии. Эта модель подробно описана в [1]. В основу модели положена кинетика десяти химических реакций, протекающих при газификации твердого топлива ( $i=1..10$  – номер химической реакции [1]). В результате получены дифференциальные уравнения энергии для одномерного стационарного потока (1) и дифференциальные уравнения изменения концентраций реагирующих компонентов (2):

$$\rho w \frac{d(cT)}{dz} = \sum_{i=1}^{10} Q_i^V - q_r \frac{\Pi}{F} - \frac{dq_z}{dz}, \quad (1)$$

$$\frac{d(w\mu_c)}{dz} = A_c \left[ -\frac{\mu_{O_2}(k_1 + 2k_2)}{M_{O_2}} - \frac{\mu_{H_2O}(k_3 + k_4)}{M_{H_2O}} - \frac{k_5\mu_{CO_2}}{M_{CO_2}} - \frac{k_6\mu_{H_2}}{M_{H_2}} \right] f \mu_c M_c \left( \frac{273}{T} \right)^2, \quad (2)$$

где:  $Q_i^V$ ,  $i=1..10$ , объемное тепловыделение в результате  $i$ -ой химической реакции, кДж/ ( $m^3 \cdot c$ );  $\rho$  — плотность дисперсного потока, кг/ $m^3$ ;  $w$  — скорость потока, м/с;  $c$  — теплоемкость смеси газообразных и твердых компонентов, кДж/ (кг·К);  $T$  — температура потока, К;  $q_r$  — плотность теплового потока на цилиндрической поверхности кольцевого канала, кДж/ ( $m^2 \cdot c$ );  $\Pi$  — внешний периметр кольцевого канал, м;  $F$  — поперечное сечение потока,  $m^2$ ;  $q_z$  — плотность теплового потока на поперечном сечении кольцевого канала, кДж/ ( $m^2 \cdot c$ );  $k_1$  —  $k_6$  — константы скорости химических реакций, м/с;  $f$  — удельная поверхность контакта коксовых частиц с газами,  $m^2/kg$ ;  $\mu_c, \mu_{O_2}, \mu_{H_2O}, \mu_{CO_2}, \mu_{H_2}$  — соответственно концентрации углерода, кислорода, водяного пара, диоксида углерода и водорода, кг/ $m^3$ ;  $M_c, M_{O_2}, M_{H_2O}, M_{CO_2}, M_{H_2}$  — молярная масса соответствующих компонентов, кг/кмоль;  $A_c$  — эмпирический коэффициент для скорости образования углерода.

Для остальных шести компонентов, участвующих в химических реакциях, получены уравнения, аналогичные формуле (2).

Для решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, полученных при математическом моделировании, было разработано программное

обеспечение, использующее метод Эйлера. Сложность применения данного метода состоит в том, что дифференциальные уравнения в системе представлены в не классическом виде.

Для расчета макропараметров процесса газификации программа использует следующие входные параметры:  $M_j$  – молярные массы компонентов, кг/кмоль;  $T_0$  – начальная температура потока, К;  $q_n, q_v$  – плотность теплового потока на наружной и внутренней цилиндрической поверхности кольцевого канала, кДж/(м<sup>2</sup>·с);  $L$  – высота установки, м;  $P_n, P_v$  – наружный и внутренний периметры кольцевого канала камеры газификации, м;  $h$  – шаг интегрирования, м;  $\nu_s, \nu_{sl}$  – коэффициент скольжения для твердых частиц;  $Q_i$  – абсолютная величина тепловых эффектов ( $i = 1..10$ ), кДж/кмоль.

Макропараметрами процесса газификации являются  $\mu_C, \mu_{O_2}, \mu_{H_2O}, \mu_{CO_2}, \mu_{H_2}, \mu_{CO}, \mu_{N_2}, \mu_{CH_4}, \mu_{зола}$ ;  $\rho_C, \rho_{O_2}, \rho_{H_2O}, \rho_{CO_2}, \rho_{H_2}, \rho_{CO}, \rho_{N_2}, \rho_{CH_4}, \rho_{зола}$  – плотности соответствующих веществ, кг/м<sup>3</sup>;  $c_C, c_{O_2}, c_{H_2O}, c_{CO_2}, c_{H_2}, c_{CO}, c_{N_2}, c_{CH_4}, c_{зола}$  – удельные теплоемкости каждого компонента, кДж/(кг·К),  $T$  – температура в камере газификатора, К;  $W$  – скорость потока, м/с;  $c$  – теплоемкость смеси газообразных и твердых компонентов, кДж/(кг·К);  $k_1 - k_{10}$  константы скорости химических реакций, м/с.

На рисунке 1 приведен пример пользовательского интерфейса данного программного обеспечения. Для оценки поведения интересующего параметра макропроцесса газификации угольной пыли в программе реализована возможность построения графиков.

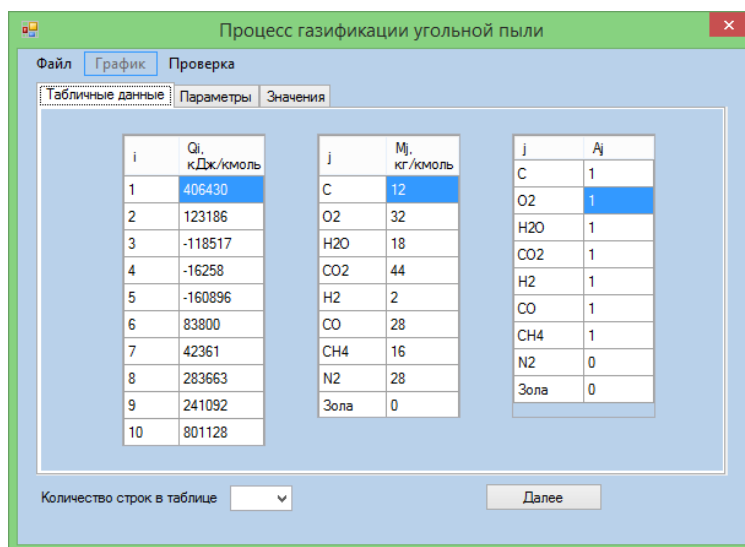


Рис. 1. Главное окно программы.

Математическое моделирование процесса газификации угля на тестовых примерах показало результаты, соответствующие прогнозируемым, что говорит о достоверности предлагаемой модели и корректной работе разработанного программного обеспечения.

#### Список литературы

1. Ефимов Н.Н., Шафорост Д.А., Белов А.А., Федорова Н.В., Ощепков А.С., Рыжков А.В., Пряткина В.С. Моделирование процесса газификации низкорреакционного угля в кольцевом потоке // Уголь. - 2014. - № Сентябрь. - С. 88 – 90.