

УДК 621.311.22

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПОТОЧНОГО ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ГАЗИФИКАТОРА

О. В. Седачёва¹, Н. А. Абаимов²

^{1,2} Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ Olga7087@mail.ru

Аннотация. Выполнено моделирование гидродинамики поточного двухступенчатого газификатора с использованием моделей турбулентности k - ε и k - ω SST, а также без моделей турбулентности. Обнаружено, что использование моделей турбулентности необходимо при моделировании газификаторов, несмотря на то что их применение усложняет и замедляет процесс расчета.

Ключевые слова: гидродинамика, моделирование, турбулентность, CFD, OpenFOAM

COMPARISON OF TURBULENCE MODELS ON THE EXAMPLE OF ENTRAINED-FLOW TWO-STAGE GASIFIER

O. V. Sedacheva¹, N. A. Abaimov²

^{1,2} Ural Federal University named after the First
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ Olga7087@mail.ru

Abstract. Simulation of the hydrodynamics of entrained-flow two-stage gasifier was carried out using the k - ε and k - ω SST turbulence models, as well as without turbulence models. Use of turbulence models is necessary when modeling gasifiers, despite the fact that their use complicates and slows down calculation process.

Keywords: hydrodynamics, modeling, turbulence, CFD, OpenFOAM

Изменение климата является важной проблемой всего мирового сообщества, вследствие повышения концентрации парниковых газов в атмосфере. Наиболее перспективный способ решения этой

проблемы — конверсия угля в парогазовых установках с внутрицикловой газификацией (ПГУ-ВЦГ). Их применение позволяет повысить коэффициент полезного действия (КПД) электростанции до 50–55 % и максимально снизить выбросы углекислого газа в атмосферу. Принципиально ПГУ-ВЦГ отличаются от ПГУ, работающих на природном газе, узлом подготовки топливного газа, ключевым элементом которого является газификатор. Одним из наиболее эффективных типов газификаторов считается воздушный поточный двухступенчатый газификатор. В настоящем исследовании моделируется гидродинамика такого газификатора МНІ 2 т/сут [1].

Газификатор (рис. 1) состоит из двух ступеней: камеры сгорания (1 ступень) и камеры газификации (2 ступень), соединённых диффузором. Четыре горелки камеры сгорания расположены тангенциально для закрутки потока, а две горелки камеры газификации установлены радиально.

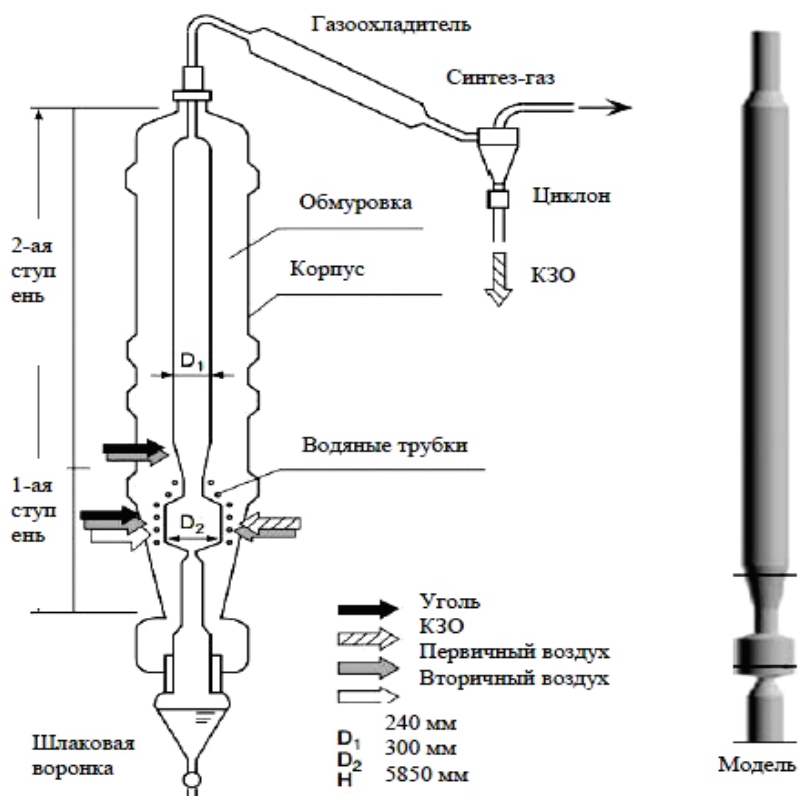


Рис. 1. Конструкция экспериментального газификатора МНІ 2 т/сут. [1]

Основным методом исследования является численное CFD-моделирование. В настоящей работе рассмотрены три варианта моделирования потока:

- 1) без модели турбулентности (ламинарный метод);
- 2) модель турбулентности k - ϵ стандартного вида [2];
- 3) модель турбулентности k - ω Shear Stress Transport (SST, модель с модификацией переноса напряжений сдвига) [3].

Моделирование выполнено в программе OpenFOAM на решателе simpleFoam. Расчетная сетка насчитывала более 32 тыс. элементов, скорость на входе — 2 м/с, на стенках — условия прилипания.

Модель k - ϵ хорошо описывает поведение потока вдали стенки. Модель k - ω позволяет корректнее описать поведение потока вблизи стенки, а модель турбулентности k - ω SST комбинирует в себе две модели: в пристеночной области она работает как k - ω , а вдали от стенок как k - ϵ . Полученные поля векторов приведены на рис. 2.

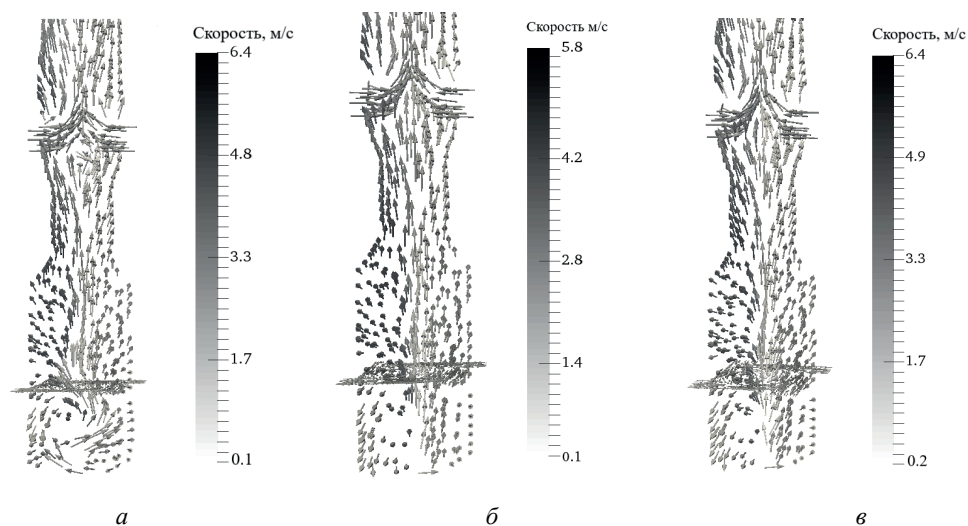


Рис. 2. Поля распределения векторов:

a — ламинарный; $б$ — k - ϵ ; $в$ — k - ω SST

Несмотря на простоту ламинарного метода, расчеты с его использованием демонстрируют нестабильные и асимметричные результаты, что говорит о необходимости использования модели турбулентности. Модели турбулентности k - ϵ и k - ω SST имеют схожие более симметричные и стабильные поля векторов.

На рис. 3 представлено сравнение распределений скорости потока на оси газификатора. Результаты расчетов, проведенных с использованием моделей $k-\epsilon$ и $k-\omega$ SST, достаточно близки друг к другу, что нельзя сказать о случае без использования моделей турбулентности (ламинарный метод). Значение скорости на начальном этапе (до 0,5 м/с) в этом случае значительно выше, чем в других. Минимальные скорости видны в начале графика, что связано с расположением там шлаковой воронки. Пиковые значения скорости располагаются в области горелок первой и второй ступени, а также в районе диффузора (перезиме) между двумя ступенями газификатора.

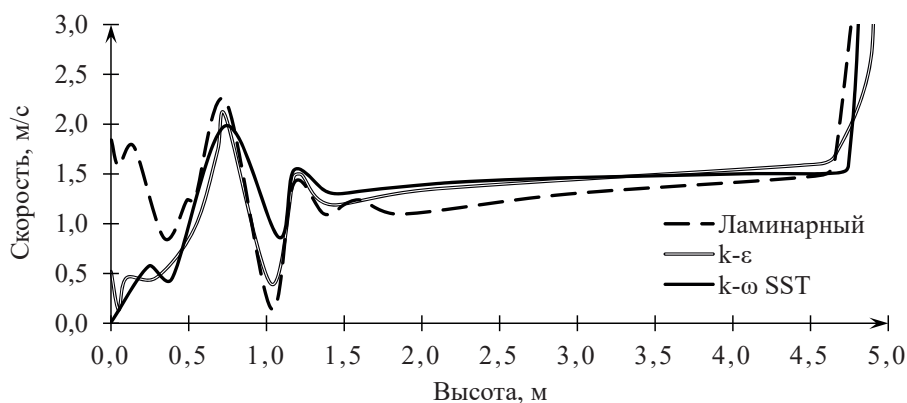


Рис. 3. Скорость на оси газификатора при использовании моделей турбулентности

Различие результатов расчетов с использованием моделей турбулентности и без их использования носит как качественный, так и количественный характер. Соответственно, использование моделей турбулентности необходимо при моделировании поточных двухступенчатых газификаторов, несмотря на то что их применение усложняет и замедляет процесс расчета.

Следующий этап работы заключается в моделировании процесса газификации (не только гидродинамики) с использованием различных моделей турбулентности и их вариации.

Список источников

1. Watanabe H., Otaka M. Numerical simulation of coal gasification in entrained flow coal gasifier [Electronic resource] // Fuel. 2006.

Vol. 85. P. 1935–1943. DOI: 10.1016/j.fuel.2006.02.002 (date of access: 15.11.2020).

2. Launder B. E., Sharma B. I. Application of the Energy Dissipation Model of Turbulence to the Calculation of Flow Near a Spinning Disc [Electronic resource] // Letters in Heat and Mass Transfer. 1974. Vol. 1, № 2. P. 131–137. DOI: 10.1016/0735–1933 (74)90024–4 (date of access: 15.11.2020).

3. Smirnov P. E., Menter F. R. Sensitization of the SST turbulence model to rotation and curvature by applying the Spalart-Shur correction term [Electronic resource] // Journal of Turbomachinery. 2009. Vol. 131. № 4. P. 1–8. DOI: 10.1115/1.3070573 (date of access: 15.11.2020).