

УДК 621.311.22

## СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПОТОЧНОГО ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ГАЗИФИКАТОРА

**Г. А. Нестерова<sup>1</sup>, Н. А. Абаимов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> ara-gulyana@yandex.ru

**Аннотация.** Проведено сравнение результатов CFD-моделирования, получаемых при использовании разных моделей турбулентности и без них, на примере моделирования гидродинамики газификатора. Использование моделей дает результат, отличный от случая без их использования.

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

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

**G. A. Nesterova<sup>1</sup>, N. A. Abaimov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Ural Federal University named after the First  
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> ara-gulyana@yandex.ru

**Abstract.** Comparison of CFD modeling results obtained using different turbulence models and without them on the example of gasifier hydrodynamics modeling is carried out. Using models gives a different result than the case without using them.

**Keywords:** turbulence, modeling, hydrodynamics, CFD, OpenFOAM

**Введение.** Одной из основных мировых экологических проблем является изменение климата и глобальное потепление, возникающее из-за выбросов парниковых газов в результате, в частности, производства тепловой и электрической энергии. Для ее выработки

в основном используется ископаемое топливо, которое приводит к выбросам углекислого газа, доля которого от всех парниковых газов, влияющих на глобальное потепление, составляет 76 % [1].

Одним из решений сокращения выбросов является использование кислородно-топливного цикла Аллама. Основной принцип работы цикла заключается в том, что рабочим телом в нем является углекислый газ, который не выбрасывается в атмосферу, а используется повторно в самом технологическом процессе. Основным узел цикла — газификатор, в котором происходит процесс получения синтез-газа из угля.

Целью работы является сравнение результатов CFD-моделирования, получаемых при использовании разных моделей турбулентности на примере моделирования гидродинамики поточного одноступенчатого газификатора.

**Методика моделирования.** В качестве инструментария вычислительной гидродинамики (CFD) использована программа OpenFOAM — открытая интегрируемая платформа для численного моделирования. В качестве решателя использован simpleFoam — решатель для стационарного несжимаемого турбулентного потока. В настоящей работе рассмотрен ламинарный метод моделирования движения потока, а также следующие модели турбулентности:  $k$ - $\epsilon$  стандартного вида;  $k$ - $\omega$  SST — модель с модификацией переноса напряжений сдвига. Расчетная сетка состояла из 220 тыс. элементов. На стенках задавалось условие без проскальзывания. Скорость на форсунках равнялась 2,36 м/с и определялась исходя из массового расхода сред и диаметра входных патрубков [2].

**Результаты моделирования.** В нижней части газификатора находится четыре радиально расположенные горелки, через которые подается среда. За счет организации соударения четырех струй практически в центре газификатора, зона с максимальной температурой располагается в максимальном удалении от стенок во избежание их перегрева и абразивного износа. В работе рассматривалась только гидродинамика газификатора, без химического реагирования и теплообмена. Для анализа структуры движения потока построены поля векторов (рис. 1), полученные с использованием моделей турбулентности ( $k$ - $\epsilon$  и  $k$ - $\omega$  SST) и без их использования (ламинарный метод).

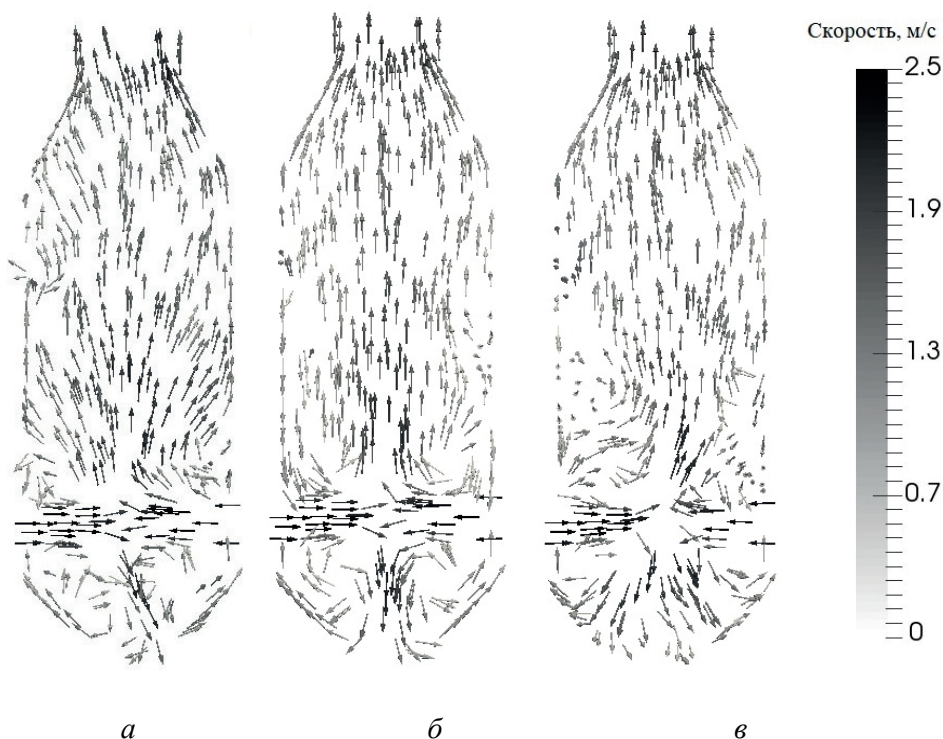


Рис. 1. Поля распределения векторов:  
а — ламинарный; б —  $k-\varepsilon$ ; в —  $k-\omega$  SST

Полученные поля векторов позволяют оценить и сравнить характер движения среды. Ламинарный метод дает наиболее нестабильную и асимметричную картину. Результаты, полученные с применением двух моделей турбулентности, схожи, однако у результатов модели  $k-\varepsilon$  наблюдается бóльшая симметрия. Принципиально во всех трех случаях наблюдается схожая картина. При соударении струй на оси газификатора образуется несколько вихрей, часть из них доходит до шлаковой воронки (низ газификатора), а другие направляются к выходу из установки (верх газификатора). Ввиду применения прямооточных горелок, рядом с каждой из них наблюдаются паразитные вихри. Поля векторов позволяют проводить в основном качественное сравнение результатов, однако для количественного сравнения больше подходит анализ распределения скорости среды по высоте (на оси) газификатора (рис. 2).

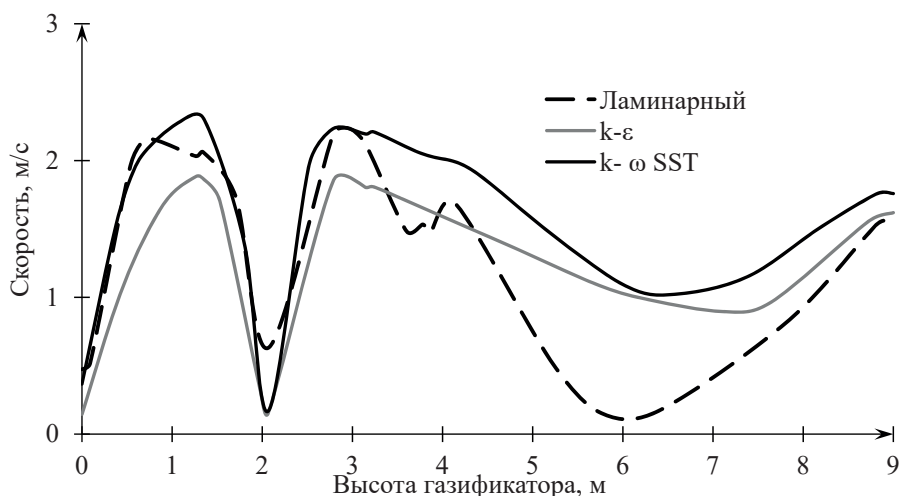


Рис. 2. Скорости на оси газификатора

Анализ распределений скорости на оси газификатора в трех исследуемых случаях позволяет сделать количественное сравнение полученных результатов. Минимальные скорости наблюдаются в районе шлаковой воронки (ввиду образования там застойных вихрей) и около горелок, т. к. струи снижают скорость среды при соударении. В случае без использования моделей турбулентности график скорости на оси газификатора имеет множество перегибов, а на высоте 6 м имеет резкое падение в отличие от двух других случаев.

**Заключение.** Использование моделей турбулентности замедляет расчет, но дает результат, отличный от случая без их использования, поэтому ими нельзя пренебрегать при дальнейших расчетах процесса газификации угля в такой установке.

#### Список источников

1. Ziegler C., Morelli V., Fawibe O. Climate change and underserved communities [Electronic resource] // Primary Care: Clinics in Office Practice. 2017. Vol. 44, Iss. 1. P. 171–184. DOI: 10.1016/j.pop.2016.09.017 (date of access: 11.11.2020).
2. Park S. S., Jeong H. J., Hwang J. 3-D CFD Modeling for Parametric Study in a 300-MWe One-Stage Oxygen-Blown Entrained-Bed Coal Gasi-fier [Electronic resource] // Energies. 2015. Vol. 8 (5). P. 4216–4236. DOI: 10.3390/en8054216 (date of access: 11.11.2020).