

УДК 621.311.22

## ВАЛИДАЦИЯ ЧИСЛЕННОЙ CFD-МОДЕЛИ ДВУХФАЗНОГО ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

**Д. С. Некрасов<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> mchernix@yandex.ru

**Аннотация.** В работе проведена валидация CFD-модели псевдоожигенного (кипящего) слоя с использованием экспериментальных данных. Результаты CFD-моделирования удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** псевдоожигенный слой, валидация, моделирование, CFD, OpenFOAM

## VALIDATION OF NUMERICAL CFD-MODEL OF TWO-PHASE FLUIDIZED BED OF BULK MATERIAL

**D. S. Nekrasov<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> mchernix@yandex.ru

**Abstract.** In this work, the CFD model of fluidized bed was validated using literature experimental data. The CFD simulation results are in satisfactory agreement with the experimental data.

**Keywords:** fluidized bed, validation, modeling, CFD, OpenFOAM

**Т**ематика снижения выбросов парниковых газов становится все актуальнее благодаря подписанному Россией Парижскому соглашению по климату и ряду других экологических документов. Процесс карбонизации золы тепловых электростанций (ТЭС) в процессе минерализации выбросов CO<sub>2</sub> позволяет улучшать потребительские свойства золы, а также снижать эмиссию CO<sub>2</sub> на 3–5 %, что сопоста-

вимо с повышением коэффициента полезного действия (КПД) ТЭС на 1,5–2 %.

Существуют различные варианты технического оформления процесса карбонизации золы, одним из самых эффективных из них является двухфазный псевдооживенный (кипящий) слой [1]. В настоящее время этот процесс является недостаточно изученным, поэтому для его исследования предлагается применять современные способы моделирования, например метод вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD).

Цель работы — провести валидацию модели псевдооживенного слоя с использованием экспериментальных данных.

В качестве программы для моделирования выбраны среда OpenFOAM и, в частности, решатель `twoPhaseEulerFoam`. Сетка — 6 тыс. элементов; экспериментальные данные для валидации — [2], схема установки — на рис. 1.

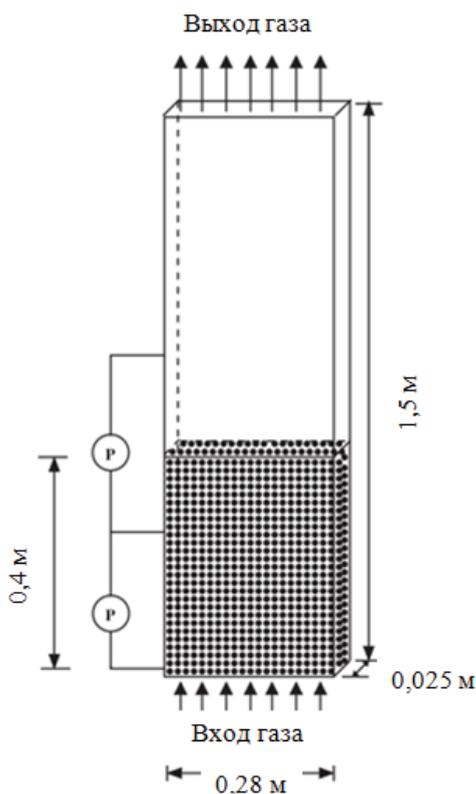


Рис. 1. Схема установки двухфазного псевдооживенного слоя [3]

Параметры работы установки, с которыми были произведены эксперимент [2; 3] и моделирование, приведены в таблице.

Таблица

Параметры работы установки

Параметр работы	Единица измерения	Значение параметра
Диаметр сферических стеклянных частиц	мкм	275
Плотность частиц	кг/м <sup>3</sup>	2500
Доля частиц в слое	—	0,6
Максимальная доля частиц	—	0,63
Скорость газа на входе	м/с	0,46
Частота измерений давления	Гц	10
Время проведения замеров	с	20
Высота установки датчиков	м	0,2

Сравнение результатов эксперимента и моделирования приведено на рис. 2.

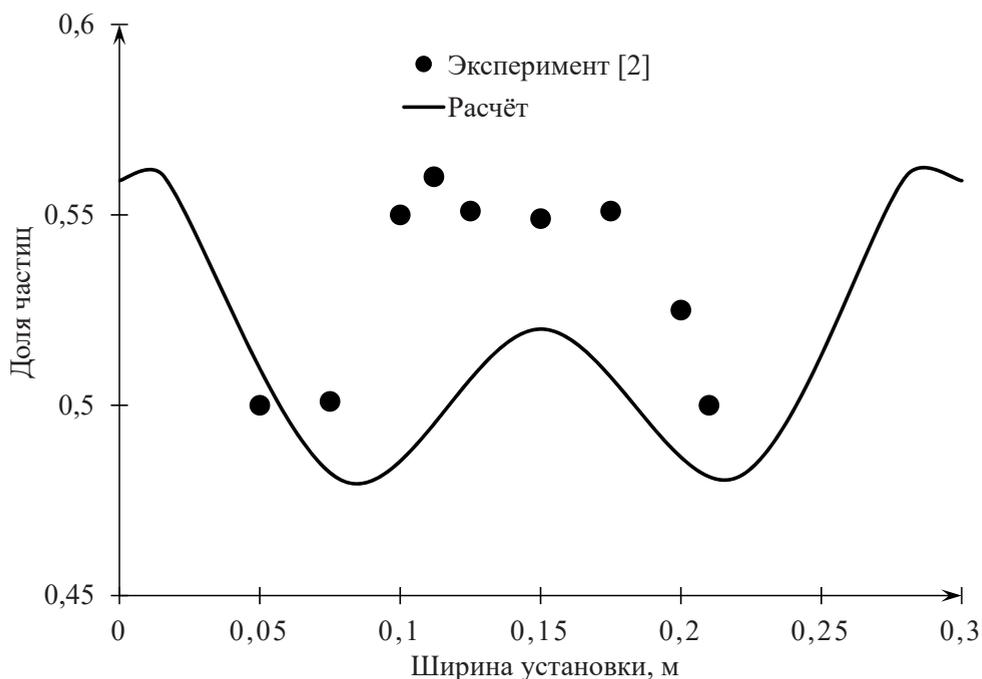


Рис. 2. Сравнение экспериментальных данных [2] с результатами CFD-моделирования

Валидация (сравнение экспериментальных данных с расчетными результатами) проводится на примере осредненного по времени распределения (доли) сферических стеклянных частиц по ширине установки на высоте установки 0,2 м. Результаты CFD-моделирования удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Наблюдается качественное совпадение расчетной и экспериментальной доли частиц в центральной части установки. Максимальные значения доли частиц достигаются около 0,15 м ширины установки. Минимальные же величины расположены симметрично в районе 0,05 и 0,25 м ширины.

Количественное расхождение результатов моделирования с экспериментальными данными незначительно и его можно объяснить рядом допущений, которые были сделаны в используемой модели псевдооживленного слоя. Среди таких допущений стоит выделить двухмерность моделируемого пространства, а также отказ от использования подмоделей турбулентности.

В ходе дальнейшей работы планируется снизить количество допущений в модели, повысить число расчетных элементов в сетке, проанализировать влияние различных подмоделей на результаты моделирования.

Таким образом, была достигнута цель настоящей работы — проведена валидация модели псевдооживленного слоя с использованием экспериментальных данных, получено удовлетворительное совпадение результатов.

### Список источников

1. Simultaneous capture and mineralization of coal combustion flue gas carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) [Electronic resource] / K. J. Reddy [et al.] // *Energy Procedia*. 2011. Vol. 4. P. 1574–1583. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.02.027 (date of access: 14.11.2020).
2. Taghipour F., Ellis N., Wong C. Experimental and computational study of gas–solid fluidized bed hydrodynamics [Electronic resource] // *Chemical Engineering Science*. 2005. Vol. 60, № 24. P. 6857–6867. DOI: 10.1016/j.ces.2005.05.044 (date of access: 14.11.2020).
3. Shi H., Komrakova A., Nikrityuk P. Fluidized beds modeling: Validation of 2D and 3D simulations against experiments [Electronic resource] // *Powder Technology*. 2019. Vol. 343. P. 479–494. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.11.043 (date of access: 14.11.2020).