

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПЛОСКОЙ УСТАНОВКИ С ФОНТАНИРУЮЩИМ СЛОЕМ БИОМАССЫ

Я.В. Касилин<sup>1</sup>, Г.Е. Масленников<sup>2</sup>, Н.А. Абаимов<sup>3</sup>

n.a.abaimov@urfu.ru

<sup>1, 2, 3</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** Газификация биомассы является технологией, которая позволяет не только производить энергию с нулевыми выбросами, но и утилизировать отходы лесного, сельского и других хозяйств. Установки с фонтанирующим слоем позволяют газифицировать широкий спектр различных видов биомассы, а также старые покрышки и даже пластик. Все преимущества установок с фонтанирующим слоем достигаются за счёт определённой гидродинамики, движению твёрдых частиц и газов. Возможность управления данной гидродинамикой позволит повысить эффективность и снизить капитальные затраты на создание газификаторов с фонтанирующим слоем. Проведено численное исследование гидродинамики плоской установки с фонтанирующим слоем биомассы и результаты сравнены (валидированы) с экспериментальными данными. Расчётные результаты удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** численное исследование, гидродинамика, плоская установка, фонтанирующий слой, биомасса, газификация.

## NUMERICAL INVESTIGATION OF HYDRODYNAMICS OF FLAT INSTALLATION WITH BIOMASS SPOUTING BED

Yaroslav V. Kasilin, Georgy E. Maslennikov, Nikolay A. Abaimov

n.a.abaimov@urfu.ru

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** Biomass gasification is a technology that allows not only to produce energy with zero emissions, but also to dispose of waste from forestry, agriculture and other industries. Spouting bed plants allow gasification of a wide range of different types of biomasses, as well as old tires and even plastic. All the advantages of installations with a spouting bed are achieved due to certain hydrodynamics, the movement of solid particles and gases. The ability to control this hydrodynamics will increase efficiency and reduce capital costs for the creation of gasifiers with a spouting bed. A numerical study of the hydrodynamics of a flat plant with a spouting bed of biomass was carried out, and the results were compared (validated) with experimental data. The calculated results agree satisfactorily with the experimental data.

**Keywords:** numerical investigation, hydrodynamics, flat installation, spouting bed, biomass, gasification.

## Введение

Газификация биомассы является технологией, которая позволяет не только производить энергию с нулевыми выбросами, но и утилизировать отходы лесного, сельского и других хозяйств. Кроме того, из получаемого в процессе газификации биомассы синтез-газа можно производить синтетическое жидкое топливо (СЖТ) и другие ценные химические вещества. Установки с фонтанирующим слоем позволяют газифицировать широкий спектр различных видов биомассы, а также старые покрышки и даже пластик. Фонтанирующий слой может работать с частицами разного размера вплоть до чипсов, в также он не требует инертного материала. При этом расслоение топлива не возникает в широком диапазоне скоростей окислителя. Все преимущества установок с фонтанирующим слоем достигаются за счёт определённой гидродинамики, движению твёрдых частиц и газов. Возможность управления данной гидродинамикой позволит повысить эффективность и снизить капитальные затраты на создание газификаторов с фонтанирующим слоем.

Цель работы – провести численное исследование гидродинамики плоской установки с фонтанирующим слоем биомассы и сравнить (валидировать) результаты с экспериментальными.

## I. Материалы и метод

В качестве расчётного инструмента используется CFD-метод (computational fluid dynamics, вычислительная гидродинамика). CFD-модель создана в программе OpenFOAM 8, решатель multiphaseEulerFoam, а геометрия и сетка в Salome 9.6. Для валидации использованы экспериментальные данные, полученные в Лаборатории новых энергетических технологий кафедры Тепловые электрические станции Уральского энергетического института Уральского федерального университета. Для увеличения скорости расчёта задача решалась в псевдодвухмерной постановке, когда толщина модели равняется одному расчётному элементу. Сетка была структурированной и состояла из 1800 расчётных элементов (гексаэдров) – Рис. 1.

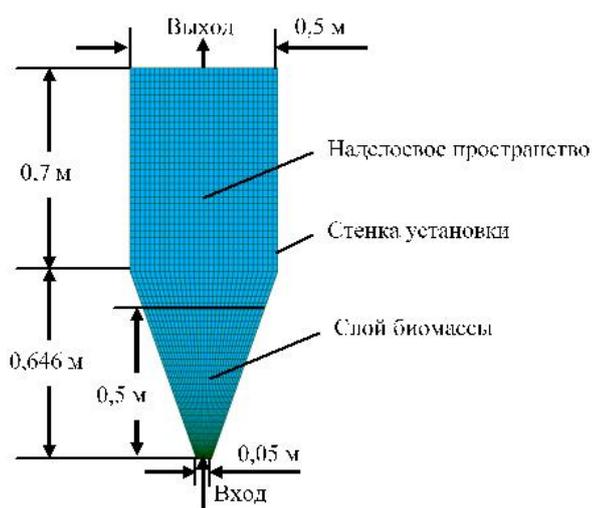


Рис. 1 – Расчетная сетка

Плоские установки с прозрачными стенками являются популярным методом исследования кипящих слоёв и фонтанирующих слоёв, в частности. Так, например, в работе [1] проведена

интенсификация процесса пиролиза и газификации биомассы в фонтанирующем слое за счёт включения в установку центрального канала для стабилизации струи газа.

Воздух входил в установку снизу со скоростями от 0,1 до 3 м/с. Однако диапазон скоростей может быть подобран для анализа работы установки в диапазоне режимов от плотного слоя (минимальные скорости) до поточного режима (максимальные скорости). Размер частиц постоянный - 300 мкм. Форма частиц – сферическая. Минимальная порозность слоя – 0,38. Плотность частиц слоя – 500 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует плотности влажной биомассы, например, древесины. Высота слоя – 0,5 м. Относительно большая высота слоя выбрана с целью увеличения масштаба процессов, протекающих внутри фонтанирующего слоя. На выходе из установки принималось условие выхода газа, но отскакивания слоя твёрдых частиц. На стенках установки выбрано условие прилипания для газа.

Задача решалась в изотермической постановке без учёта химического реагирования. Таким образом исследовалась только гидродинамика слоя твёрдого материала и газа. Использована следующие подмодели: вязкость слоя – Gidaspow, турбулентность слоя – RAS, гидродинамическое сопротивление – GidaspowErgunWenYu, подробно описанная в работах [2], [3]. Подмодель сопротивления вносит наиболее существенный вклад в результаты моделирования задач с кипящими слоями, поэтому тематике сравнения различных подмоделей сопротивления посвящено множество статей, например, [4-8]. В данных работах отмечается хорошее соответствие результатов, полученных на подмодели сопротивления GidaspowErgunWenYu экспериментальным данным. Общее время расчёта задавалось равным 10 с. Временной шаг по времени был постоянным и равнялся 0,0002 с.

## II. Результаты и обсуждение

Расчётные результаты были качественно сравнены с экспериментальными (Рис. 2).

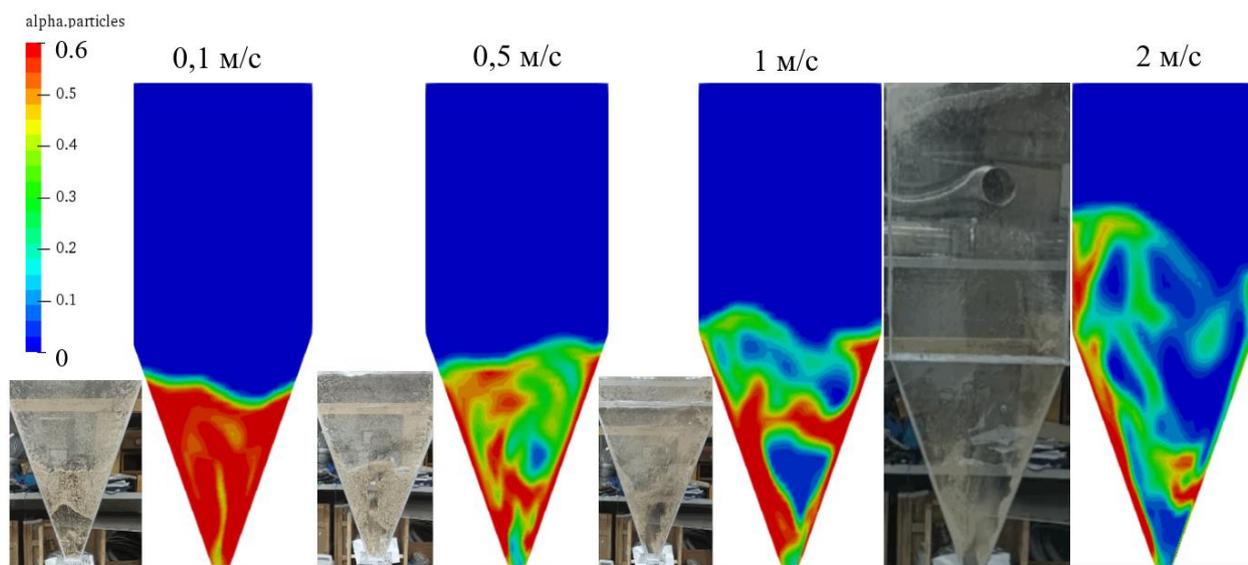


Рис. 2 – Результаты валидации

Из Рис. 2 видно, что расчётные результаты удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. На шкале присутствует переменная, которую можно интерпретировать как плотность упаковки частиц, то есть величина равная 1-порозность. При скорости подачи воздуха в установку 0,1 м/с наблюдается режим со слабым ожижением – порозность слоя возрастает незначительно и не во всём объёме. При скорости 0,5 м/с режим похож на пузырьковый – пузыри воздуха образуются во всём объёме и выходят из слоя в разных местах. При скорости 1 м/с режим близок к нестабильному фонтанирующему слою –

часть слоя забрасывается на одну из стенок, опускается вниз, а затем заброс повторяется уже на противоположную стенку. При 3 м/с наблюдается режим похожий на циркулирующий кипящий слой – значительное количество материала слоя выносится из установки. Для определения конфигурации, необходимой для получения стабильного фонтанирующего слоя требуются дальнейшие исследования.

### **Заключение**

Таким образом, была достигнута цель работы – проведено численное исследование гидродинамики плоской установки с фонтанирующим слоем биомассы и результаты сравнены (валидированы) с экспериментальными данными. Дальнейшим направлением исследования может быть переход от Эйлера-Эйлеровой постановки к дискретной (DEM/CFD-DEM) [9]. Дискретная постановка задачи позволяет считать кипящий слой не как непрерывную среду, а как совокупность трёхмерных объектов различной формы и размера, что значительно повышает требования к расчётным мощностям и времени расчёта. Также планируется использование различных литературных данных для валидации использованной здесь CFD-модели фонтанирующего слоя биомассы.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства "Приоритет-2030".*

### **Список литературы**

- [1] Makibar J., Fernandez-Akarregi A. R., Díaz L., Lopez G. and Olazar M. Pilot scale conical spouted bed pyrolysis reactor: Draft tube selection and hydrodynamic performance // Powder Technology. 2012, Vol. 219, pp. 49–58.
- [2] Ding J. and Gidaspow D. A bubbling fluidization model using kinetic theory of granular flow // AIChE Journal. 1990, Vol. 36(4), pp. 523–538.
- [3] Gidaspow D. Hydrodynamics of fluidization and heat transfer: supercomputer modeling // Appl. Mech. Rev. 1986, Vol. 39, pp. 1-23.
- [4] Prabhansu, Dey S., Karmakar M.K., Chandra P. and Chatterjee P.K. Studies on various drag models in fluidized bed for abatement of environmental pollution // International journal of environmental sciences. 2015, Vol. 5, No 5, pp. 1011-1021.
- [5] Simonin O., Chevrier S., Audard F. and Fede P. Drag force modelling in dilute to dense particle-laden flows with mono-disperse or binary mixture of solid particles // 9th International Conference on Multiphase Flow (ICMF 2016), May 2016, Firenze, Italy. pp. 1-6.
- [6] Pang B., Wang S. and Lu H. A modified drag model for power-law fluid-particle flow used in computational fluid dynamics simulation // Advanced Powder Technology. 2021, Vol. 32, Iss. 4, pp. 1207-1218.
- [7] Upadhyay M., Kim A., Kim H., Lim D. and Lim H. An Assessment of Drag Models in Eulerian–Eulerian CFD Simulation of Gas–Solid Flow Hydrodynamics in Circulating Fluidized Bed Riser // ChemEngineering. 2020, Vol. 4(2), Iss. 37, pp. 1-19.
- [8] Halvorsen B.M., du Plessis J.P. and Woudberg S. The performance of drag models on flow behaviour in the CFD simulation of a fluidized bed // WIT Transactions on Engineering Sciences. 2006, Vol 52, pp. 3-12.
- [9] Zhong W., Yu A., Liu X., Tong Z. and Zhang H. DEM/CFD-DEM Modelling of Non-spherical Particulate Systems: Theoretical Developments and Applications // Powder Technology. 2016, Vol. 302, pp. 108–152.