

П. А. Ральников<sup>1</sup>, В. А. Лаптев<sup>1</sup>, Д. А. Свищев<sup>2</sup>, А. Ф. Рыжков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

<sup>2</sup> ИСЭМ СО РАН, г. Иркутск

ral-pavel@mail.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОБТЕКАНИЯ ОДИНОЧНОЙ ЧАСТИЦЫ ТОПЛИВА В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ\*

*В работе произведено численное моделирование экспериментальной установки для исследования одиночной частицы с использованием метода вычислительной гидродинамики CFD. Выполнен гидродинамический расчет обтекания одиночной топливной частицы холодным воздухом. Проанализированы результаты исследования при различной скорости дутья. Выполнена верификация численной модели по экспериментальным данным. Выбраны наиболее оптимальные режимы для экспериментов.*

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика; твёрдое топливо; воздушное дутье.

P. A. Ralnikov<sup>1</sup>, V.A. Laptev<sup>1</sup>, D. A. Svishchev<sup>2</sup>, A.F. Ryzhkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural Federal University, Ekaterinburg

<sup>2</sup> ESI SB RAS, Irkutsk

## NUMERICAL MODELLING FOR STUDY OF THE FLOW AROUND SINGLE FUEL PARTICLES IN EXPERIMENTAL SETUP

*In this paper, the numerical simulation of the experimental setup has done for the study of a single particle using the method of computational fluid dynamics CFD. A hydrodynamic calculation of the flow around a single fuel particle by cold air is performed. The results of the study at different blast rates are analyzed. Verification of the numerical model by experimental data is performed. The most optimal modes for experiments are chosen.*

Keywords: computational fluid dynamics; solid fuel; air blast.

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-38-00774.

© Ральников П. А., Лаптев В. А., Свищев Д. А., Рыжков А. Ф., 2018

Современный уровень развития экспериментального оборудования обеспечивает высокую воспроизводимость и точность определяемых данных. В большинстве случаев экспериментальные исследования требуют значительного количества временных и финансовых ресурсов. При выполнении экспериментов в закрытом пространстве при высокой температуре достаточно сложно выполнить точное инструментальное измерение некоторых интересующих параметров. По этой причине для более полного понимания процессов, происходящих в экспериментальных установках, требуется использовать определённые инструменты моделирования. Среди численных методов моделирования наиболее функциональным считается метод вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics) – CFD.

Объектом моделирования выступает совокупность гидродинамических и теплообменных процессов, проходящих в печи экспериментальной установки. Моделируемый режим работы печи приведен в таблице.

Моделируемый режим работы экспериментальной установки

Параметр	Значение
Внутренние размеры печи, мм	255×290×170
Размер частицы, мм	12×12×12
Температура стенок печи, °С	800
Температура дутья, °С	25
Скорость дутья, м/с	20–120
Диаметр фурмы, мм	2
Диаметр выходного отверстия, мм	23

Для обеспечения достаточной точности результатов расчетная сетка должна быть подробной, но при этом не должна содержать в себе излишне большое количество элементов, так как это значительно увеличивает требования к вычислительным ресурсам и время расчета (рис. 1). Для оптимизации расчетного процесса произведено исследование влияния количества расчетных элементов сетки на результаты исследования. Исследование сетки показало, что при достижении в ней 800 тыс. элементов и выше результаты моделирования имеют очень высокую повторяемость. Таким образом,

для получения достоверных результатов достаточно выбранной расчетной сетки в 800 тыс. элементов.

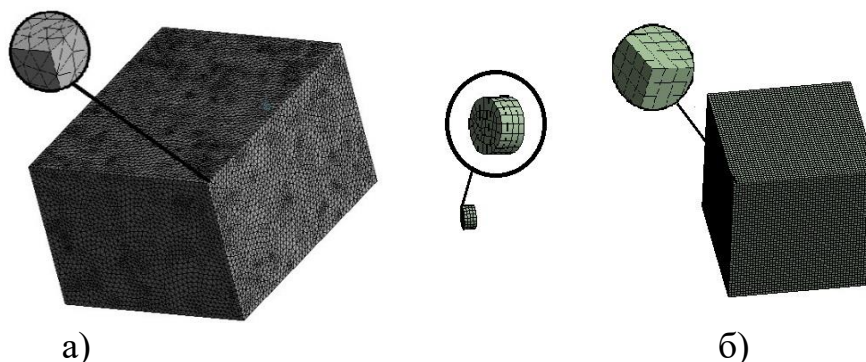


Рис. 1. Расчетная сетка: а) печь; б) фурма и частица

Для расчета скоростных параметров движения потока внутри установки использована модель турбулентности  $k-\varepsilon$  стандартного вида [1]. С целью верификации численной модели выполнено сравнение расчетной и экспериментальной скорости потока на выходе из печи. Для анализа полученных результатов численного исследования построены поля распределения температуры (рис. 2) и скорости потока (рис. 3).

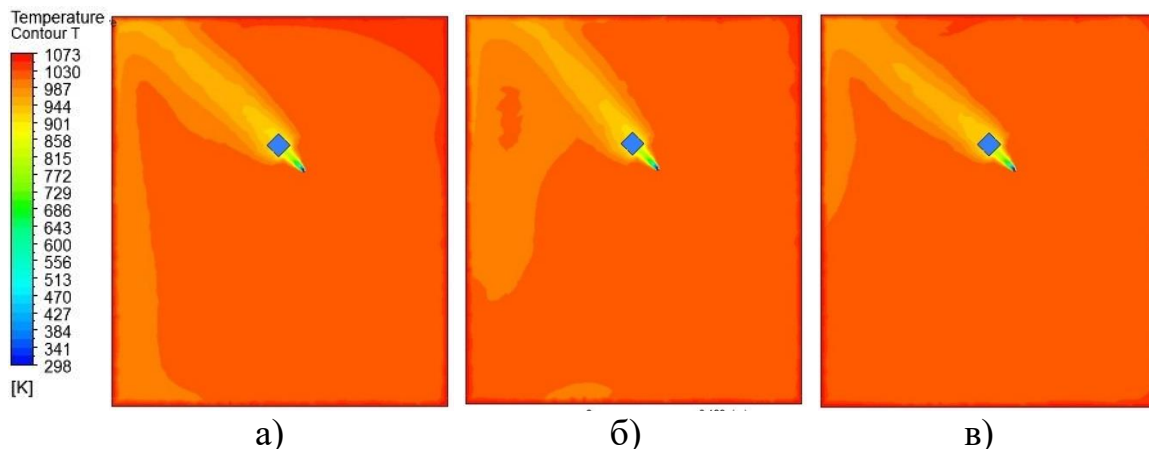


Рис. 2. Поля распределения температуры. Скорость воздуха, м/с:  
а) 40; б) 80; в) 120

Можем заметить, что при увеличении скорости дутья распределение температуры в среднем сечении становится более равномерным. Неравномерность при низкой скорости воздуха обусловлена относительно низким газообменом в застойных зонах печи. Повышение скорости потока практически не изменяет

температурное поле около частицы, при этом температура во всем объеме печи закономерно снижается.

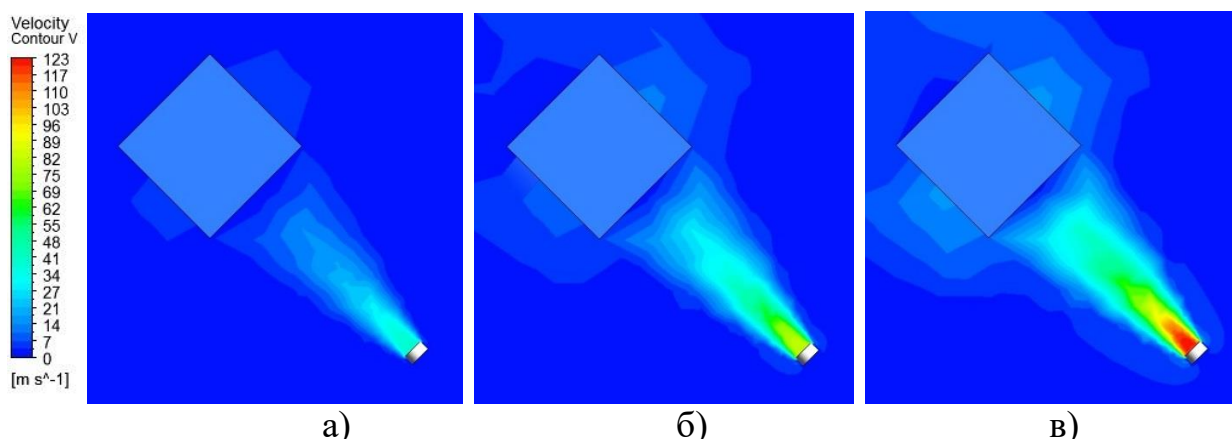


Рис. 3. Распределение скорости потока. Скорость дутья, м/с:  
а) 40; б) 80; в) 120

Результаты исследования показывают, что увеличение скорости в исследуемом диапазоне (от 20 до 120 м/с) показывает близкое к линейному изменение профиля скоростного обдува одиночной частицы. Отличие в гидродинамических полях можно наблюдать лишь только на некотором удалении от частицы, когда уже начинают играть роль конструктивные особенности установки. Данная закономерность позволяет сделать заключение о стабильности скоростного профиля вблизи частицы и о необходимости исследования зависимости полей скорости вблизи частицы при изменении расстояния между фурмой и частицей.

Таким образом, результаты численного исследования позволили наглядно ознакомиться с режимами обтекания одиночной частицы в экспериментальной установке.

Численное исследование позволило получить новые данные о работе установки, непосредственное измерение которых требует применения специализированных экспериментальных подходов и аппаратуры.

#### Список использованных источников

1. Чернецкий М. Ю., Кузнецов В. А., Дектерев А. А., Абаймов Н. А., Рыжков А. Ф. Сравнительный анализ влияния моделей турбулентности на описание процессов горения угольной пыли при наличии закрутки потока // Теплофизика и аэромеханика. 2016. Т. 23, № 4. С. 615–626.