

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И СОВРЕМЕННЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ЦИКЛОННОМ РЕКУПЕРАТОРЕ

Бурков В.А.,

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, Российская Федерация*

Научный руководитель – Попов В.Н., докт. физ.-мат. наук, профессор

Ключевые слова. Численное моделирование, гидрогазодинамика, Навье-Стокс, OpenFOAM, метод конечных объемов.

Keywords. Numerical simulation, fluid dynamics, Navier-Stokes, OpenFOAM, finite volume method.

В настоящее время численное моделирование является одним из мощнейших инструментов для проведения экспериментов. В отличие от натурного, вычислительный эксперимент не требует значительных затрат на создание трехмерной модели изучаемого объекта. При условии создания качественной модели, численный результат не будет уступать физическому. Возможность применения подобного способа моделирования рассмотрим на примере распространения воздушного потока в циклонном рекуператоре.

Материал и методы. Циклонный рекуператор представляет собой устройство по очищению воздуха от примесей. В зависимости от конструкции рекуператор способен удалять определенные виды частиц в зависимости от материала и/или размера (рисунок 1) [1].

	Щепа, дроблёнка, кора	Стружка	Мокрые опилки	Сухие опилки	Мелкая и шлифовальная сухая пыль
ОЭКДМ тип К	+	+	+		
ЦДО	+	+	+	+	
ЦДО-В	+	+	+	+	
ЛТА ЛесоТехнической Академии		+	+	+	
УЦ ГипроДревПром			+	+	
ЦКФ циклон с вентилятором	+	+	+	+	
ЦН-15 НИОГАЗ			+	+	+
УЦ ДревПром			+	+	+

Рисунок 1 – Сравнительная эффективность рекуператоров для разных видов частиц

Для примера был взят рекуператор УЦ-630, а в качестве поступающих частиц выбраны частицы мелкой сухой пыли (до 100 мкм).

Первым этапом моделирования является создание расчётной сетки. По задаче использовалась равномерная расчётная сетка 35x35x115, состоящая из 43794 узлов и 40624 ячеек.

В процессе решения задач гидрогазодинамики чаще всего применяется физико-математическая модель, включающая уравнения Навье–Стокса [2]. Вычисления проводилось на основе модели турбулентности *k*-equation:

$$\frac{D}{Dt}(\rho k) = \nabla \cdot (\rho D_k \nabla k) + \rho G - \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot \mathbf{u} - \frac{C_e \rho k^{1.5}}{\Delta} + S_k,$$

а за перенос частиц была взята модель Ergun-Wen-Yu [3].

Для моделей необходимо задать начальные и граничные условия. Начальным условием будет нулевая скорость потока воздуха по всему объёму рекуператора, а граничными:

- на входе – скорость воздуха 14 м/с;
- вдоль стенок – скорость 0 м/с (без проскальзывания).

Результаты и их обсуждение. Моделирование кинематического облака было проведено с использованием пакета OpenFOAM, а для ускорения вычислений использован вычислительный кластер Северного (Арктического) федерального университета. Визуализация результата проведена в программе ParaView и представлена на рисунках 2–3.

Из рисунка 3 можно видеть, что частицы пыли теряют кинетическую энергию на стенках и под действием гравитации опускаются вниз, после чего удаляются из камеры.

Закключение. Визуализация результатов вычислительного эксперимента показывает эффективность рассмотренного рекуператора для удаления мелкодисперсных частиц пыли, что соответствует физическому эксперименту (использованию данного вида рекуператора на практике). Таким образом, была проверена возможность проведения численных экспериментов вместо натурных испытаний.

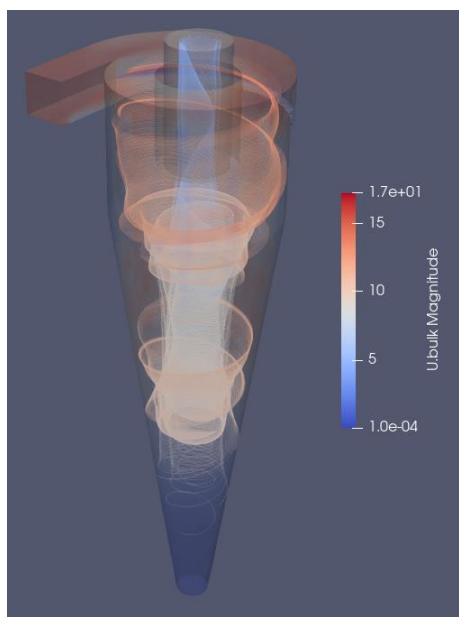


Рисунок 2 – Вихрь внутри рекуператора

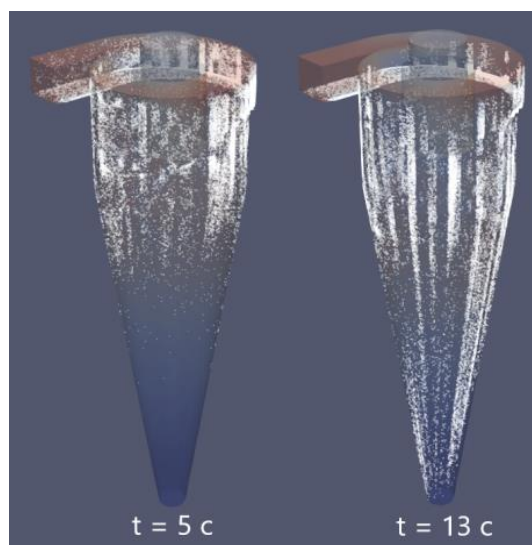


Рисунок 3 – Положение частиц в два момента времени

1. Циклоны для деревообработки оборудования [Электронный ресурс] // Формула: Завод технологического. – Режим доступа: https://e-formula.ru/Cyclons/Cyclons_wood.htm. – Дата доступа: 30.10.2024.

2. Гарбарук, А.В. Моделирование турбулентности в расчётах сложных течений / А.В. Гарбарук, М.Х. Стрелец, М.Л. Шур. – СПб. : Изд-во СПбПУ, 2012. – 88 с.

3. Chen, W. Applications of Numerical Modeling in Pneumatic Conveying / W. Chen, K.C. Williams, M.G. Jones // Pneumatic Conveying Design Guide (Third Edition). – Butterworth-Heinemann, 2016. – P. 521–552.