

УДК 3937

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЦИКЛОНА МЕТОДОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Рязановский Павел Дмитриевич¹, студент

e-mail: prz1604@gmail.com

Каменев Кирилл Сергеевич¹, студент

e-mail: kamkir03@gmail.com

Девяткин Андрей Анатольевич¹, кандидат технических наук

e-mail: andev2010@yandex.ru

¹ Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы численного исследования циклонного фильтра методом вычислительной гидродинамики (CFD) с использованием инструмента Flow Simulation программного комплекса SolidWorks. Представлены теоретические аспекты работы циклонных аппаратов, рассмотрены их основные достоинства и недостатки. Описано влияние геометрических параметров на эффективность очистки воздуха от твердых частиц. Приведена методика расчета циклона в SolidWorks Flow Simulation, описаны этапы подготовки и проведения численного моделирования, а также анализ результатов. Полученные данные позволяют оценить влияние конструктивных решений на эффективность работы циклона и оптимизировать конструкцию фильтра.

Ключевые слова: SolidWorks, циклонные фильтры, эффективность.

INVESTIGATION OF THE CYCLONE PERFORMANCE USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD

Pavel D. Ryazanovsky¹, Student

e-mail: prz1604@gmail.com

Kirill S. Kamenev¹, Student

e-mail: kamkir03@gmail.com

Andrey A. Devyatkin¹, Doctor of Technical Sciences

e-mail: andev2010@yandex.ru

¹ Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. This article presents a numerical study of a cyclone filter using Computational Fluid Dynamics (CFD) through the Flow Simulation tool of the SolidWorks software suite. Theoretical aspects of cyclone separator operation are discussed, including their main advantages and disadvantages. The influence of geometric parameters on the efficiency of particulate air filtration is analyzed. A methodology for modeling the cyclone in SolidWorks Flow Simulation is provided, detailing the stages of setup and execution of the numerical simulation, as well as the

analysis of the obtained results. The data acquired allow for the evaluation of how design decisions affect cyclone performance and enable the optimization of the filter's structure.

Keywords: SolidWorks, cyclone filters, efficiency.

Введение

Циклонные фильтры являются одним из наиболее распространенных устройств, применяемых для очистки газовых потоков от взвешенных твердых частиц. Простота конструкции, отсутствие движущихся элементов и высокая надежность обеспечивают их широкое использование в различных отраслях промышленности. Однако эффективность сепарации частиц зависит от множества факторов: геометрических размеров, режимов работы и характеристик загрязнений. Для оптимизации этих параметров целесообразно использовать численные методы гидродинамики (CFD). Цель исследования – численно определить влияние геометрических параметров на эффективность работы циклона с использованием программного пакета SolidWorks Flow Simulation.

Циклонный фильтр работает за счет комбинации центробежных сил, гравитации и аэродинамического сопротивления, что позволяет отделять частицы от газового потока.

Газ с частицами подается тангенциально в верхнюю часть циклона, создавая вращательное движение. За счет формы циклона (конической или цилиндрической) поток закручивается, формируя двойной вихрь: Нисходящий спиральный поток у стенок. Восходящий поток в центральной зоне (выход очищенного газа).

Частицы в потоке подвергаются воздействию центробежной силы, направленной от центра к стенкам циклона:

$$A_c = \frac{mv^2}{r}, \quad (1)$$

где m — масса частицы,

v — тангенциальная скорость потока,

r — радиус циклона.

Крупные и плотные частицы (например, железо) быстрее отбрасываются к стенкам из-за большей массы m . Под действием гравитации частицы, достигшие стенок, скользят вниз по спирали и собираются в бункере. Аэродинамическое сопротивление газа замедляет движение частиц, но центробежная сила доминирует для частиц с высокой инерцией (крупных/плотных).

Исследование

Очищенный газ меняет направление движения в нижней части циклона поднимается вверх через центральную трубу (вихревая труба), после чего выводится из системы.

Для исследования была создана трехмерная модель Циклона СЦН 40 -1000 в SolidWorks (рис. 1).

Модель была экспортирована в модуль SolidWorks Flow Simulation для проведения CFD-анализа. Для дискретизации области течения использовалась автоматическая генерация сетки с локальным измельчением вблизи стенок корпуса, входного и выходного отверстий. Это позволило достичь высокой точности расчетов в критических зонах.

Были заданы необходимые свойства для газа: плотность, вязкость. Типом анализа был выбран Стационарный режим течения. Модель турбулентности — k - ϵ (стандартная), которая широко используется для моделирования вихревых потоков. Частицы загрязнений были добавлены в виде дискретной фазы с различными диаметрами (1–100 микрон) и плотностью (2500 кг/м³). На входе задавался равномерный воздушный поток со скоростью



20м/с. На выходе устанавливалось условие постоянного давления (атмосферное). Стенки корпуса считались непроницаемыми с учетом трения.

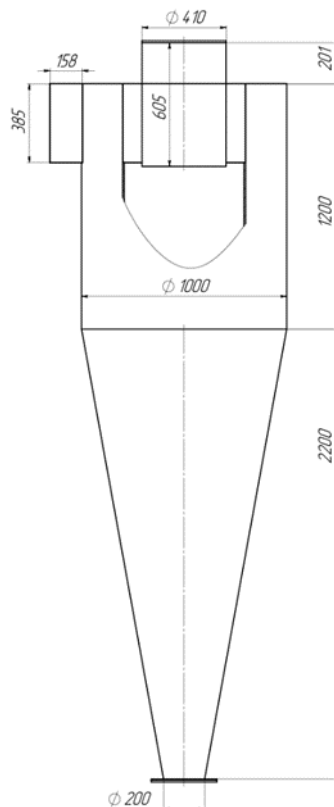


Рисунок 1 – Чертеж СЦН-40-1000

Цель задана в виде выражения, где будет определено сопротивление, создаваемое в циклоне на входе и на выходе, также будет рассмотрена средняя скорость потока внутри контура.

Для исследования эффективности необходимо создать 3 расчета симуляции с разными размерами частиц 10 мкм, 5 мкм, 1 мкм, в качестве материалов будут использоваться полиуретан и железо для разных расчетов. Будет задано, что в циклон будет поступать 100 частиц в циклон, и для того, чтобы определить эффективности очистки необходимо определить сколько частиц будет вылетать из выхода циклона. Для этого будет использован датчик через сечение, позволяющий провести оценку эффективности очистки.

Результаты

Для частиц пыли размером 10 мкм наблюдается более четкое разделение потоков в циклонном фильтре. Частицы пыли концентрируются в центральной части и выводятся через нижний патрубок (рис. 2).

Для частиц пыли размером 1 мкм наблюдается более хаотичное движение. Часть частиц пыли выводится через нижний патрубок, а часть уносится газовым потоком через верхний патрубок (рис. 3).

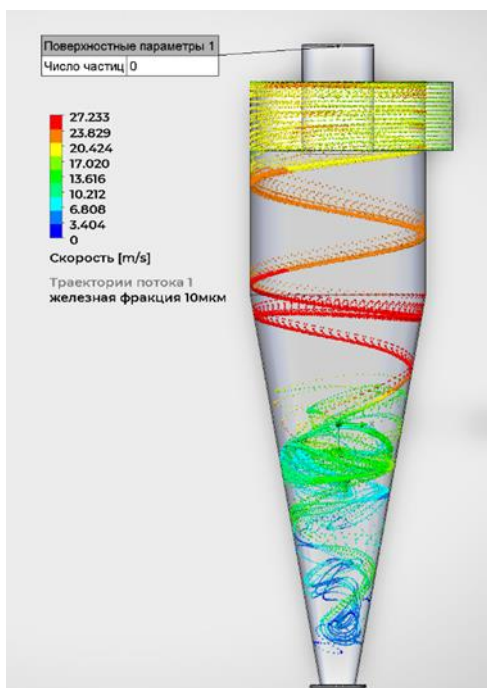


Рисунок 2 – Расчет движение фракции для 10 мкм

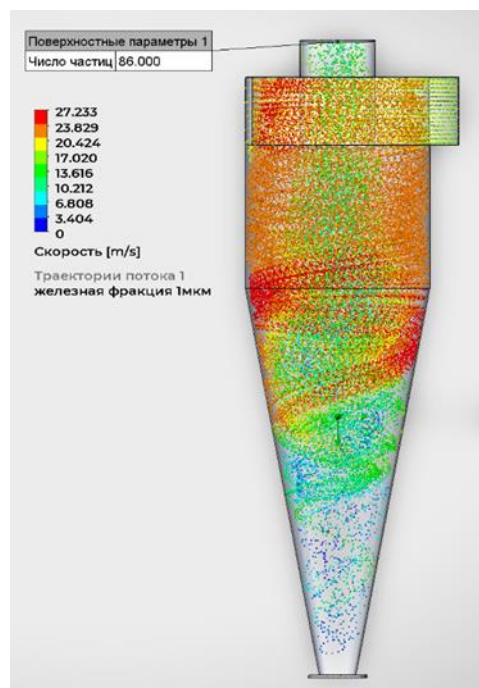


Рисунок 3 – Расчет движение для фракции 1 мкм

Эффективность очистки частиц из полиуретана составляет для 10 мкм – 75%, 5 мкм – 60%, 1 мкм – 48%. Эффективность очистки частиц из железа с для 10 мкм – 100%, 5 мкм – 91%, 1 мкм – 14%.

Для проверки корректности результатов численного моделирования, выполненного в SolidWorks Flow Simulation, была проведена верификация расчета путем сравнения полученных данных с экспериментальными результатами, доступными из литературы и технической документации. Особое внимание уделялось эффективности очистки частиц размером 10 микрон, так как этот диапазон является критическим для работы циклонных фильтров.

Расчетные данные: В ходе CFD-моделирования в SolidWorks Flow Simulation была рассчитана эффективность улавливания частиц размером 10 микрон. Полученное значение составило 75% для полиуретана, а для железных частиц она составила 100%.

Согласно отчетам производителя “Формула” аналогичных циклонов, эффективность очистки для частиц размером 10 микрон составляет 95% при аналогичных условиях (скорость входного потока 20 м/с, геометрия циклона с диаметром корпуса 1000 мм), но производитель не указал какую пыль использовала именно материал.

Проведенная верификация результатов CFD-моделирования в SolidWorks Flow Simulation показала, что расчетные данные для частиц размером 10 микрон находятся в удовлетворительном согласовании с экспериментальными значениями, особенно для железных частиц (отклонение 4%), что подтверждает корректность настроек математической модели. Однако значительное расхождение для полиуретановых частиц (21%) требует уточнения исходных условий эксперимента, описанных в технической документации, включая материал частиц и параметры испытаний.

Основными причинами отклонений могут быть: неполные данные производителя (материал частиц, детали эксперимента); идеализация модели (пренебрежение шероховатостью, вибрацией); ограничения турбулентной модели (k-ε не полностью отражает сложные вихревые эффекты).

Для повышения точности рекомендуется: уточнить параметры эксперимента у производителя; учесть дополнительные факторы (шероховатость, не стационарность потока) в расчетной модели.

Вывод

Таким образом, моделирование работы циклона в Flow Simulation может быть использована для их проектирования и выбора оптимальных характеристик.

Список литературы

1. Асламова В.С. Прямоточные циклоны. Теория, расчет, практика. Ангарск: Ангарская государственная техническая академия, 2008. 233 с.
2. Безик Д.А. Автоматизация расчета параметров циклона на основе математического моделирования процесса пылеулавливания. Дисс. ... канд. техн. наук. Брянск, 2000. 150 с.
3. М. Ш. Баркан и др. ; науч. ред. И. Н. Белоглазов ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЕ И ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ: учебное пособие. СПб: Санкт-Петербургский гос. горный ин-т им. Г. В. Плеханова, 2011. 88 с.
4. Кузнецов С.И. Моделирование работы высокоэффективного циклонноротационного пылеуловителя / Кузнецов С.И., Михайлик В.Д., Русанов С.А., – Вестник ХНТУ, 2009, № 3(36), с. 81–85.
5. Лаптев, А. Г. Гидромеханические процессы в аппаратах химической технологии: учебно-справочное пособие для вузов / А. Г. Лаптев. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — С. 466 — ISBN 978-5-507-49597-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/427193> (дата обращения: 09.01.2025). — Режим доступа: для авториз. Пользователей.
6. Циклон универсальный для мелкой пыли СЦН-40-1000 / [Электронный ресурс] // Формула : [сайт]. — URL: https://e-formula.ru/Cyclons/stsn_40/stsn_40_detailed.html?stsn_40_1000 (дата обращения: 06.05.2025).

