

**Аллабердин Азамат Ильдарович**, студент,  
ФГБОУ ВО “Уфимский государственный  
нефтяной технический университет”

**Шарафиев Роберт Гарафиевич**, профессор д.т.н.,  
ФГБОУ ВО “Уфимский государственный  
нефтяной технический университет”

**Байбурин Эдуард Рамилевич**, профессор к.т.н.,  
ФГБОУ ВО “Уфимский государственный  
нефтяной технический университет”

**Шарафиев Родион Артурович**, студент,  
ФГБОУ ВО “Уфимский государственный  
нефтяной технический университет”

**Шарафиев Аскар Маратович**,  
ФГБОУ ВО “Уфимский государственный  
нефтяной технический университет”

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИКЛОННОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗА

**Аннотация.** Приводится конструктивное описание и принцип работы циклонного сепаратора. Приводятся результаты теоретического расчета устройства. Также приведены результаты применения системы конечно-элементного анализа Ansys CFX для определения эффективности аппарата.

**Ключевые слова:** Циклонный сепаратор, газовая смесь, частицы.

В Уфимском государственном нефтяном техническом университете был спроектирован циклонный сепаратор для очистки газа (Рисунок 1), данное устройство способно улавливать частицы с диаметром до 5 мкм.

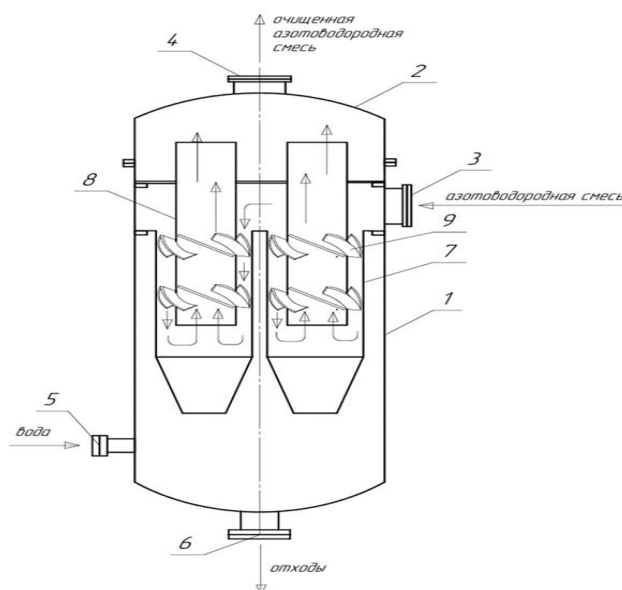


Рисунок 1. Циклонный сепаратор



Спроектированный аппарат работает следующим образом: неочищенный газ через патрубок 3 поступает в газораспределительное устройство. Частичное отделение капельной жидкости происходит за счет завихрения потока, создаваемого лопастями 9. Очищенный газ направляется через внутренние циклонных элементы 8 в патрубок 4. Конденсат и твердые частицы отводятся через патрубок 6. Для предотвращения налипания частиц предусмотрен патрубок 5 для подачи смывающей жидкости [1].

Устройство было спроектировано для работы под высоким давлением, поэтому толщина внешних стенок обечайки и эллиптических днищ составляет 26 мм. Толщина стенок циклонных элементов составляет 8 мм, так как давление будет давить с обеих сторон. Аппарат рассчитан для работы под давлением до 10 МПа.

Главным параметром сепаратора является диаметр улавливаемых частиц, по результатам теоретического вычисления и компьютерного моделирования устройство способно улавливать частицы с диаметром 4,3 мкм с вероятностью 77%. В качестве сырья была взята азотоводородная смесь вместе с твердыми частицами (карбаматы), исходные данные газовой смеси: давление  $p = 9,8$  МПа, температура  $t = 20$  °С, расход  $Q = 16,4$  кг/с, плотность газового конденсата  $\rho = 910$  кг/м<sup>3</sup>, молекулярная масса газовой среды  $M = 8,24$  моль/кг, плотность газовой среды  $\rho = 23,26$  кг/м<sup>3</sup>, скорость газовой среды составляет  $u = 0,35$  м/с [2].

Так как теоретические расчеты могут давать не совсем точный результат, появилась необходимость в создании процесса моделирования очистки газа, для этого применили программу Ansys 2025.

Расчет производится в программном комплексе ANSYS Workbench, в модуле CFX. Данный модуль используется для газодинамических расчетов в области машиностроения. Решение задач с помощью пакета ANSYS CFX включает в себя следующие этапы:

- Построение геометрии и сетки для расчетной области;
- Задание начальных и граничных условий, численной схемы и других параметров вычисления в препроцессоре;
- Запуск на вычисление и записывание файла с результатами;
- Анализ полученных результатов в постпроцессоре.

Система конечно-элементного анализа Ansys CFX является мощным инструментом для вычислительной гидродинамики, позволяет ускорить и увеличить процесс разработки любых изделий, повысить их эффективность. Она применима, если расчет, так или иначе, связан с течением жидкостей и газов. Использование данной системы требует предварительной разработки геометрической модели перемешивающего устройства, и корпуса аппарата (Рисунок 2).

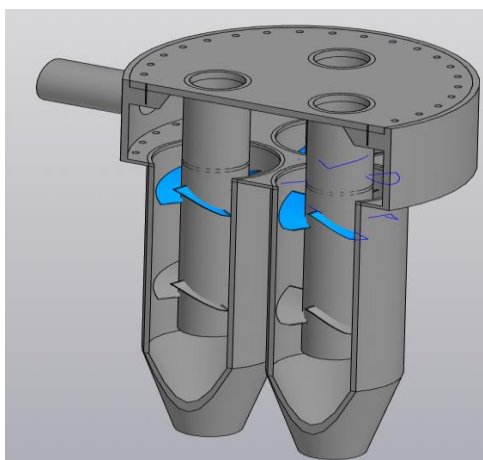


Рисунок 2. 3d-модель циклонного сепаратора



Проектируемый сепаратор состоит из трех циклонных элементов содержащий два ряда лопастей. Для расчета проходимости частиц в программе ANSYS был взят один из трех элементов.

Расчетная модель построена с применением программного комплекса КОМПАС (Рисунок 3). Такая модель сократит время расчетов и значительно упростит весь расчет в целом.

Для расчетной области заданы следующие условия:

- Физические условия: газ – воздух, твердые частицы – сажа;
- Вход в циклонный элемент – со скоростью 0,35 м/с и температурой 20°C, с давлением 10 МПа;
- Выход из циклона – с заданным давлением 10 МПа.

Создаем материалы Air и Soot.

Во вкладке Materials Properties вводим свойства воздуха:

- Плотность (Density) – 1.185 кг/м<sup>3</sup>;
- Удельная теплоемкость (Specific Heat Capacity) – 1004,4 Дж/ (кг×К);

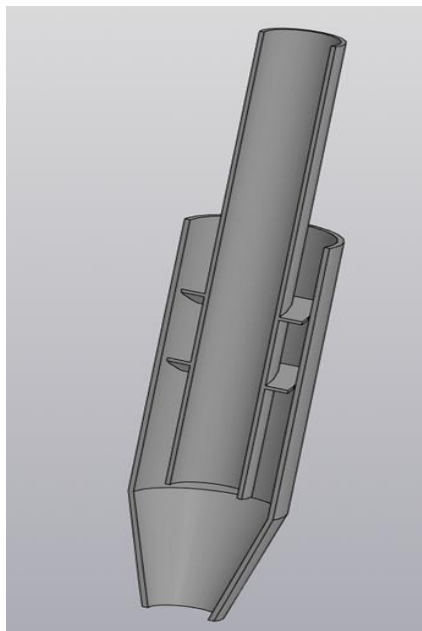


Рисунок 3. 3d-модель одного циклонного элемента

- Динамическая вязкость (Dynamic Viscosity) – 0,0000183 Па×с;
- Коэффициент теплопроводности (Thermal Conductivity) – 0.0261 Вт/ (м×К);
- Коэффициент объемного расширения (Thermal Expansivity) – 0,00335 1/К;
- Молярная масса (Molar Mass) – 28,96 г/моль.

Во вкладке Materials Properties вводим свойства сажи:

- Плотность (Density) – 2000 кг/м<sup>3</sup>;
- Молярная масса (Molar Mass) – 12 г/моль.

Для отображения результатов моделирования откроем раздел Results. В этом разделе ставим количество частиц в газе, и смотрим какие частицы отделяются от газа, а какие проходят вместе с ним, в дальнейшем меняем количество. После несколько повторений проводим статистику. Результат статистики можно посмотреть в таблице 1. На рисунках 4, 5, 6 изображены частицы, отделившийся от газа и те что проходят вместе с ним.



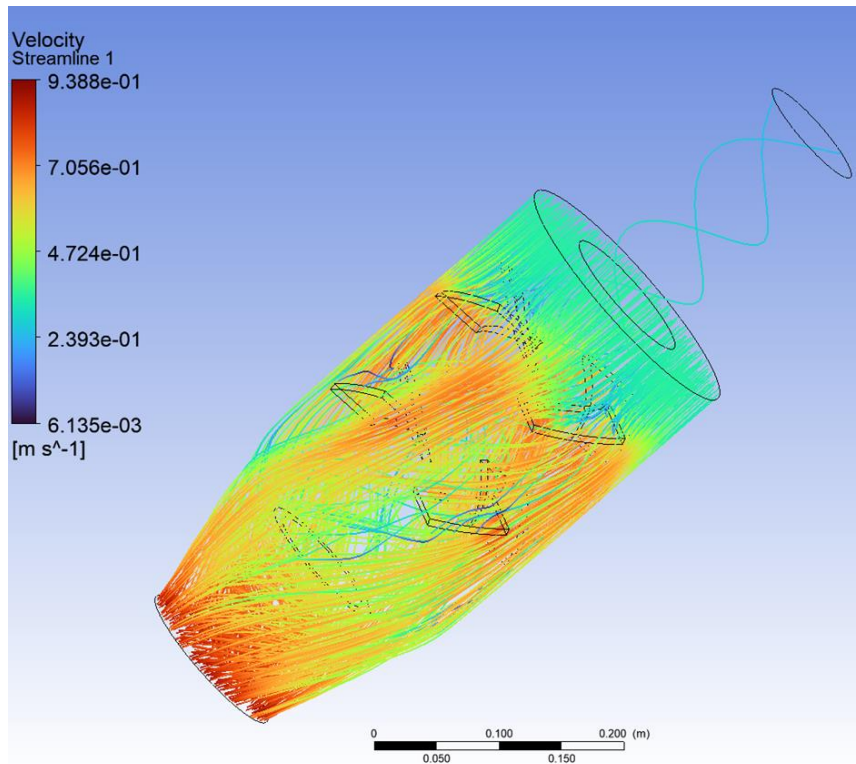


Рисунок 4. Проходимость частиц в сепараторе в количестве 500 ед.

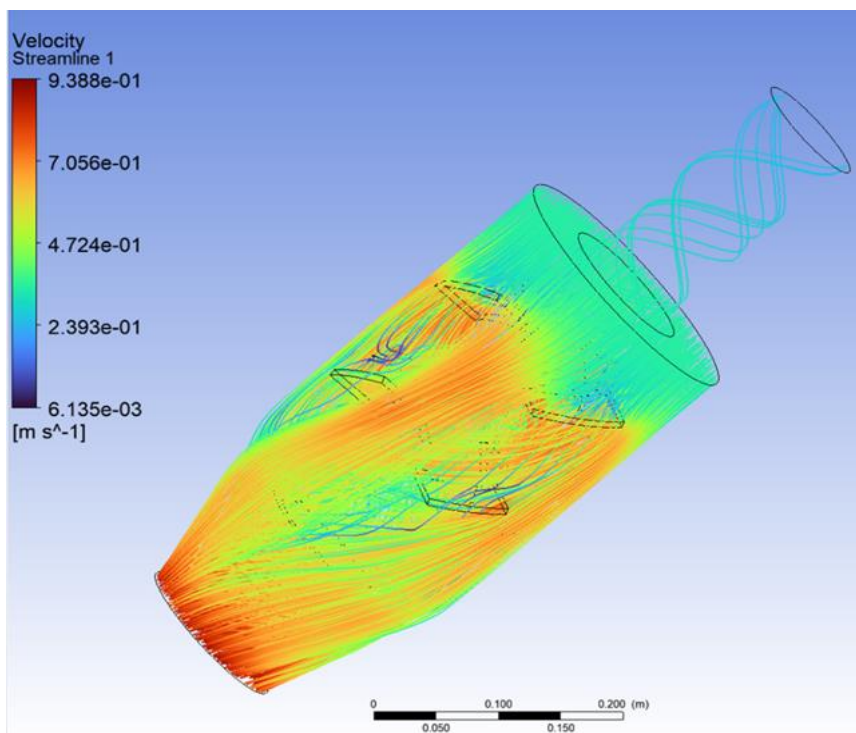


Рисунок 5. Проходимость частиц в сепараторе в количестве 1000 ед.



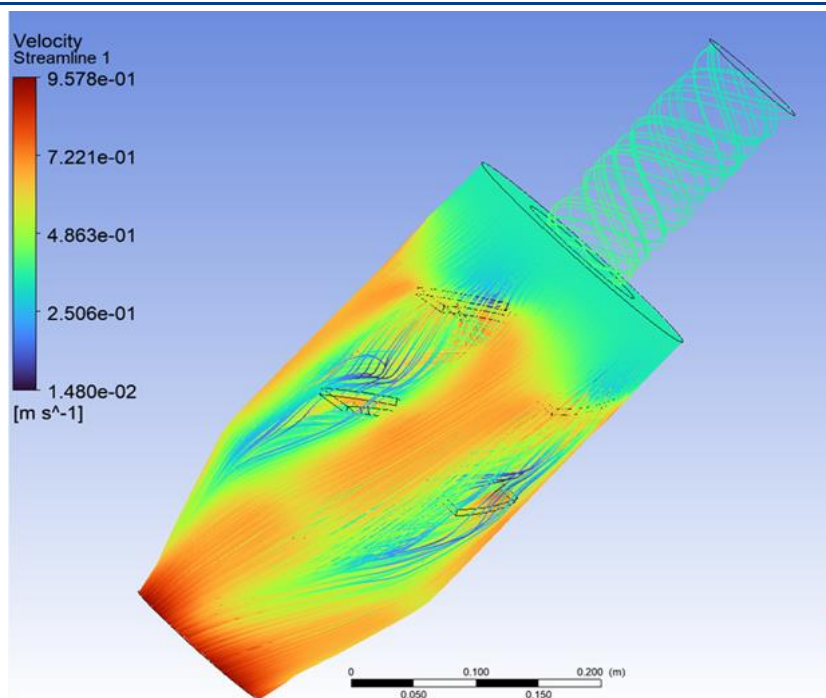


Рисунок 6. Проходимость частиц в сепараторе в количестве 2500 ед.

Таблица 1

Характеристика состава газа на входе и на выходе

№	Кол-во частиц в газе на входе	Кол-во частиц в газе на выходе
1 (Рисунок 3.3)	500	2
2 (Рисунок 3.4)	1000	9
3 (Рисунок 3.5)	2500	19

По результатам моделирования процесса очистки газа от твердых частиц можно сделать вывод о том, что проектируемая конструкция циклонного сепаратора способна улавливать частицы размером до 5 мкм свыше 90%..

*Список литературы:*

1. Аллабердин А.И., Шарафиев Р.Г., Байбурун Э.Р., Шарафиев Р.А., Шарафиев А.М. Совершенствование конструкции циклонного сепаратора // Флагман науки: научный журнал. Апрель 2026. – СПб., Изд. ГНИИ "Нацразвитие" – 2026. №4 (39).  
 1 Т.ронов В. П., Сепарация газа и сокращение потерь нефти. / Казань: «Фэн», 2002. – 408 с.
2. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. / Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005.
3. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С. Исследование очистки газового потока от различных фракций пылевидных частиц сепаратором трапециевидной формы. / Вестник технологического университета. – Казань: КНИТУ, 2019. – №10. – С. 68-71.

