

АНАЛИЗ ПОЛЯ СКОРОСТИ ГАЗА В ПРЯМОТОЧНОМ ЦИКЛОНЕ

Топталов В.С., Флисюк О.М., Марцулевич Н.А., Борисова Е.И.
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), Санкт-Петербург

Ключевые слова: прямоточный циклон, пылеулавливание, закрученный поток, численное моделирование, модель движения газа, завихритель, поле скоростей газа.

Аннотация. Представлена численная модель течения газа в прямоточном циклоне двух различных компоновок. Главной задачей моделирования было определение поля скорости газа в аппарате и анализ наличия турбулентного следа завихрителя стабилизатора, который может оказывать негативное влияние на эффективность разделения в аппарате. В ходе проведенного исследования было установлено, что при срыве потока газа со стабилизатора завихрителя образуется турбулентный след, в который могут попадать улавливаемые частицы. Решением этой проблемы является удлинение стабилизатора и увеличение его диаметра.

ANALYSIS OF THE GAS VELOCITY FIELD IN A DIRECT-FLOW CYCLONE

Toptalov V.S., Flisyuk O.M., Martsulevich N.A., Borisova E.I.
Saint-Petersburg State Institute of Technology, Saint-Petersburg

Keywords: straight-through cyclone, dust collection, swirling flow, numerical modeling, gas motion model, swirler, gas velocity field.

Abstract. A numerical model of gas flow in a straight-through cyclone of two different configurations is presented. The main objective of the modeling was to determine the gas velocity field in the device and analyze the presence of a turbulent wake of the stabilizer swirler, which can have a negative impact on the efficiency of the device. In the course of the study, it was found that when the gas flow breaks away from the stabilizer swirler, a turbulent wake is formed, into which the captured particles can fall. The solution to this problem is to lengthen the stabilizer and increase its diameter.

Для улавливания мелкодисперсных частиц и очистки газовых потоков разработано большое количество различных методов и аппаратов. Большинство аппаратов, показывающих высокую эффективность очистки, имеют и высокое гидравлическое сопротивление, что вызывает дополнительные эксплуатационные затраты. Однако, прямоточные циклоны, которые в большинстве случаев имеют низкий перепад давления, в случае правильной разработки конструкции и последующей её оптимизации, могут иметь и хорошие показатели по эффективности улавливания. В последнее время, для проведения анализа полей гидродинамических величин и оптимизации конструкции технологических аппаратов на его основе, применяются методы CFD – вычислительной гидродинамики.

Так, в статье Sebastian D. и др. [1] проводится численное исследование ряда конструкций прямоточных циклонов, применяемых для улавливания частиц минеральных пылей из потоков воздуха, поступающего в двигатели внутреннего сгорания. В работе авторы определяют влияние отсоса уловленной пыли на эффективность улавливания. В материале авторов YinHui S. и др. [2] изучается

влияние различных конфигураций выпускной трубы и пылесборника на производительность циклонного сепаратора. Для сравнительного анализа использовалась перевернутая коническая опускная труба, которая, оказывает положительное влияние на эффективность улавливания. Авторами М. Sommerfeld и М.А. Taborda в работе [3] представлено численное исследование движения частиц в циклоне с использованием модели LES. Турбулентность в масштабе подсетки (SGS) была описана динамической моделью Смагоринского. Показано, что шероховатость поверхности оказывает значительно влияние на эффективность улавливания циклона.

В настоящей работе проведено моделирование течения газа в прямоточном циклоне новой запатентованной [4] конструкции (рис. 1). Использовались две компоновки со стабилизатором двух различных форм и диаметров (рис. 2, а, б) Диаметр аппарата – 150 мм. Диаметр стабилизатора завихрителя на рисунке 2, а – 30 мм, на рисунке 2б-100 мм.

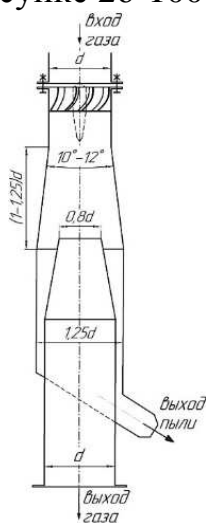


Рис. 1. Схема прямоточного циклона

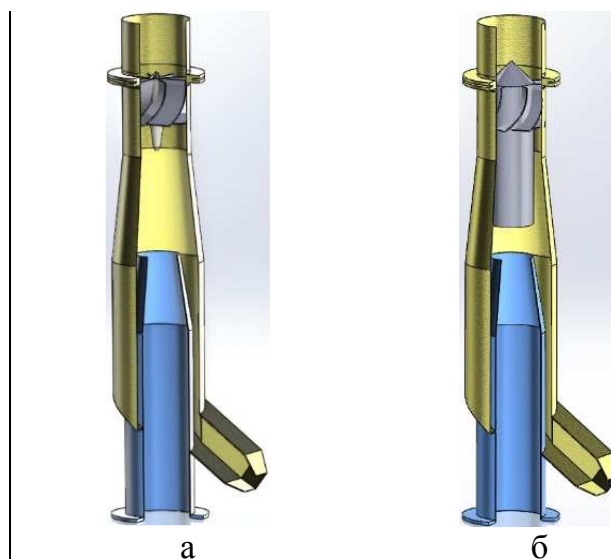


Рис. 2. Конфигурации прямоточного циклона

Основным элементом внутренней геометрии разделительной камеры циклона, является стабилизатор, который расположен непосредственно за завихрителем. Его назначение состоит в максимальном демпфировании потока, устранении вихреобразований, вызванных срывом потока с лопастей, а также уменьшении турбулентного «следа» после завихрителя. На рисунке показаны проекции линий тока на плоскость, проходящую через ось циклона. Число Re , рассчитанное по диаметру трубопровода, при скорости 12 м/с составляло значение 110000. Рисунок 3, а, б дает достаточно полное представление о характере движения газа в разделительной камере с данной геометрией. В первом случае область течения делится на две зоны, в которых гидродинамическая картина совершенно различна. В периферийной зоне закрученный поток газа движется строго вдоль стенки камеры с высокими скоростями. В центральной зоне формируется турбулентный «след», в котором генерируются обширные продольные циркуляции газа. Во втором случае поток газа ровно обтекает стабилизатор завихрителя, а турбулентный след уходит в патрубок для выхода очищенного газа, не увлекая в него частицы пыли. При моделировании использовалась $k-\omega$ SST модель турбулентности.

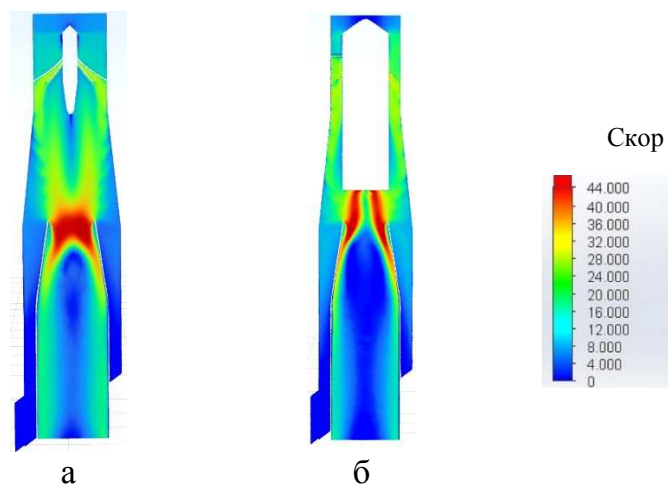


Рис. 3. Поля скоростей газа в аппарате

Проведённое численное моделирование показало, что компоновка прямоточного циклона с удлинённым стабилизатором большего диаметра создаёт менее турбулентное течение газа в разделительной камере. Турбулентный след стабилизатора в таком случае уходит в патрубок для выхода газа и не оказывает негативного влияния на эффективность аппарата.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 21-79-30029).

Список литературы

1. Sebastian D., Jerzy M., Tadeusz D., Michał T. Numerical studies of an axial flow cyclone with ongoing removal of separated dust by suction from the settling tank // *Chemical Engineering Research and Design*. 2024, vol. 208, pp. 29-51, DOI: 10.1016/j.cherd.2024.05.044.
2. YinHui S., GuoGang Y., Qiuwan S., Shian L., Xiaoxing Y., Guoling Z., Zhonghua S. Numerical analysis of cyclone separators with unique Dipleg structures at different Dipleg-to-dustbin ratios // *Powder Technology*. 2024, vol. 443, p. 119904. DOI: 10.1016/j.powtec.2024.119904.
3. Sommerfeld M., Taborda M.A.. Understanding solid particle transport in a gas cyclone separator // *International Journal of Multiphase Flow*. 2024, vol. 181, p. 104992. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2024.104992.
4. Патент №195672 РФ. Прямоточный циклон / О.М. Флисюк, В.С. Топталов, Н.А. Марцулевич, О.В. Муратов. – Заявка №2019136768 от 15.11.2019; опубл. 03.02.2020, Бюл. № 4.

Сведения об авторах:

Топталов Валерий Сергеевич – ассистент;

Флисюк Олег Михайлович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой;

Марцулевич Николай Александрович – д.т.н., профессор, декан;

Борисова Екатерина Игоревна – к.т.н., доцент.