

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №4, Том 12 / 2020, No 4, Vol 12 <https://esj.today/issue-4-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/48SAVN420.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Чемезов И.И., Леченко Г.Е., Волков К.Р., Маслеев А.В., Гончарова В.В., Ерошкин Д.В. Анализ влияния геометрических размеров выхлопной трубы циклона на степень его очистки с помощью компьютерного моделирования // Вестник Евразийской науки, 2020 №4, <https://esj.today/PDF/48SAVN420.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Chemezov I.I., Lechenko G.E., Volkov K.R., Masleev A.V., Goncharova V.V., Eroshkin D.V. (2020). Analysis of the influence of the geometric dimensions of the cyclone exhaust pipe on the degree of its cleaning using computer modeling. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(12). Available at: <https://esj.today/PDF/48SAVN420.pdf> (in Russian)

УДК 72

**Чемезов Илья Игоревич**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»  
Магистрант  
E-mail: chemezov.ii@students.dvfu.ru

**Леченко Геннадий Евгеньевич**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»  
Магистрант  
E-mail: lechenko.ge@students.dvfu.ru

**Волков Кирилл Романович**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»  
Магистрант  
E-mail: volkov.vk@students.dvfu.ru

**Маслеев Александр Владимирович**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»  
Магистрант  
E-mail: masleev.av@students.dvfu.ru

**Гончарова Виктория Владимировна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»  
Магистрант  
E-mail: goncharova.vv@students.dvfu.ru

**Ерошкин Дмитрий Владимирович**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»  
Магистрант  
E-mail: eroshkin.dv@students.dvfu.ru

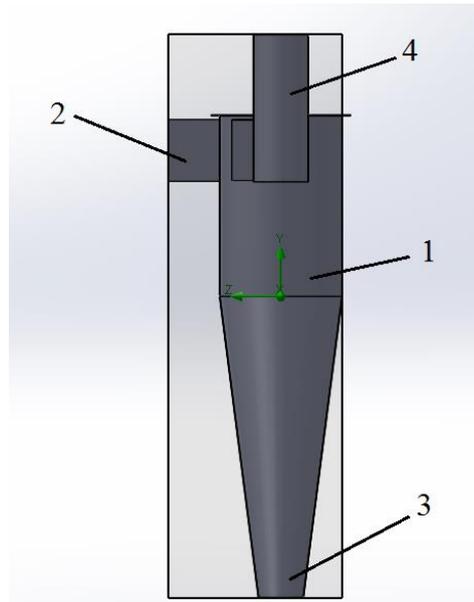
## **Анализ влияния геометрических размеров выхлопной трубы циклона на степень его очистки с помощью компьютерного моделирования**

**Аннотация.** Подбор оптимальных геометрических размеров и параметров работы промышленного оборудования всегда является актуальным вопросом. Так и с цилиндрическими циклонами известно, что напрямую на его эффективность влияет входная скорость потока запыленного воздуха, диаметр корпуса и его длина. В данной работе произведен анализ влияния геометрических размеров выхлопной трубы на эффективность очистки циклона. Исследование производилось в инженерном программном комплексе SolidWorks 2016 с помощью добавления Flow Simulation, предназначенного для моделирования гидродинамических процессов. Была обозначена актуальность выбранной тематики исследования. Были построены две модели одинакового циклона, но с различным «заглублением» выхлопной трубы в корпус устройства. Объектом исследования выступали поток запыленного воздуха с частицами твердого вещества, находящимися в нем. Полностью описан процесс моделирования, а именно постановка задачи, задание граничных условий, перечисление допущений. По итогам работы были получены значения количества точек различных фракций, вышедших через выхлопную трубу вместе с очищенным газом. По итогам этих значений делался вывод об эффективности работы циклона при изменении «заглубления» выхлопной трубы в корпус циклона. Результаты сведены в таблицы. Также представлены некоторые эпюры распределения скоростей и траекторий потоков фракций различной крупности при изменении входной скорости потока, полученные в ходе выполнения моделирования. Работа также содержит в себе 4 таблицы и 7 рисунков, которые главным образом отображают результаты, полученные в ходе моделирования и последующей обработки статистических показателей.

**Ключевые слова:** газоснабжение; механические примеси; фракции различной крупности; частицы; очистка; циклон; центробежные силы; моделирование; Flow Simulation; SolidWorks; выхлопная труба

### **Введение**

Одним из основных аспектов подготовки газа является его тщательная очистка от твердых механических примесей. Самыми распространенными устройствами для данного процесса являются циклонные аппараты. В них очистка газа достигается специальной конструкцией прибора без дополнительного физико-химического воздействия на поток.



**Рисунок 1.** Основные элементы цилиндрического циклона (составлено авторами)

Приведем основные элементы циклонных аппаратов, кратко описывая суть его работы: запыленный газ попадает во внутреннюю полость 1 циклона через входной патрубок 2. Внутри циклона из-за формы его корпуса запыленный газ закручивается и посредством центробежной силы частицы твёрдого вещества отбрасывает к стенке устройства. Благодаря гравитационным силам частицы твёрдого вещества осаждаются в бункере 3, а очищенный газ выходит наверх через выхлопную трубу 4. Обозначенные элементы циклона показаны на рисунке 1 [1–5].

Основные преимущества использования циклонных аппаратов [3–6]:

- простота конструкции устройства;
- надежность в эксплуатации;
- небольшие экономические и энергетические затраты;

Основные недостатки:

- небольшая фракционная эффективность;
- отсутствие точной информации об оптимальных параметрах работы.

Для выполнения исследования был изучен опыт работ [5–7].

### Цель

Целью данной работы является моделирование движения потока воздуха с фракциями различной крупности твердого вещества в циклоне с последующим анализом значений эффективности очистки в зависимости от изменения производительности по воздуху и геометрической длины выхлопной трубы.

### Задачи

Для достижения цели работы были сформированы следующие задачи:

1. Изучить физические и гидродинамические процессы, происходящие в цилиндрических циклонах.

2. Создать 3D-модели гидравлических циклонов различных габаритов.
3. Произвести моделирование движения потока воздуха с примесями твердых частиц внутри циклонов.
4. Проанализировать значения эффективности очистки.
5. Привести рекомендации по параметрам работы цилиндрических циклонов.

### Актуальность

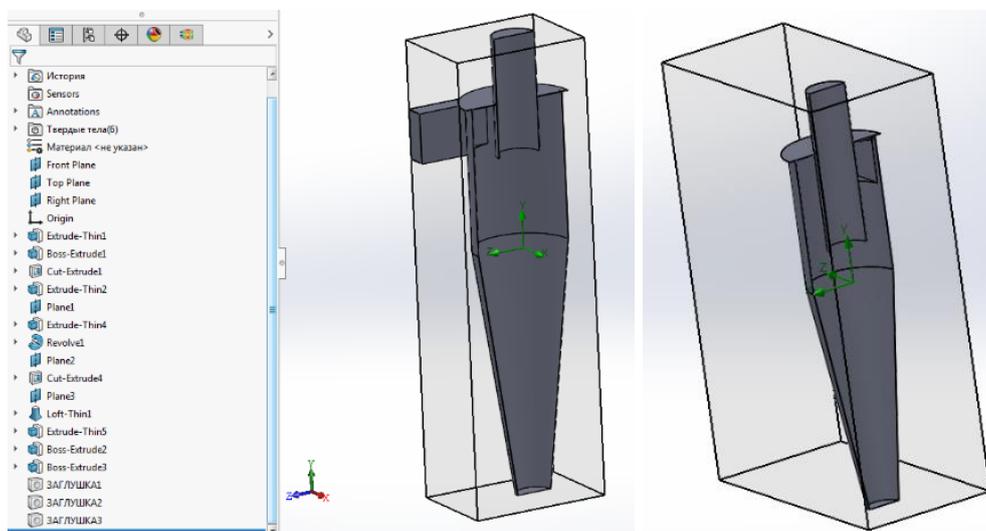
Актуальность работы связана с тем фактом, что параметры работы циклонных аппаратов в основном подбираются не на основе точных расчетов по одной принятой методике (хотя данных методик существует множество), а на основе промышленного опыта работы с ними. Стоит отметить, что нигде нет рекомендаций по расчету «заглубления» выхлопной трубы в корпус циклона. Но, как показывают исследования, на эффективность очистки циклона влияют не только такие параметры, как оптимальная входная скорость потока, его диаметр и длина, но и геометрические размеры выхлопной трубы.

### Методология

Исследование гидродинамических процессов, связанных с движением потоков воздуха и частиц твердого вещества, проводилось в инженерном программном комплексе SolidWorks в добавлении Flow Simulation, предназначенного для моделирования гидродинамических процессов.

### Подготовка к моделированию

Для моделирования в CAD-редакторе SolidWorks был построен циклон с произвольными размерами, дерево построения которого представлено на рисунке 2. Как говорилось ранее, в работе будет изучаться две модели с различным «заглублением» выхлопной трубы в цилиндрическую часть циклона. Одна модель с «заглублением» на 250 мм, вторая – на 500 мм (на рисунке 3 размеры продемонстрированы). А на рисунке 4 изображен изометрический вид модели с показом основных геометрических размеров.



*Рисунок 2. Дерево построения циклона и разрез его модели (составлено авторами)*

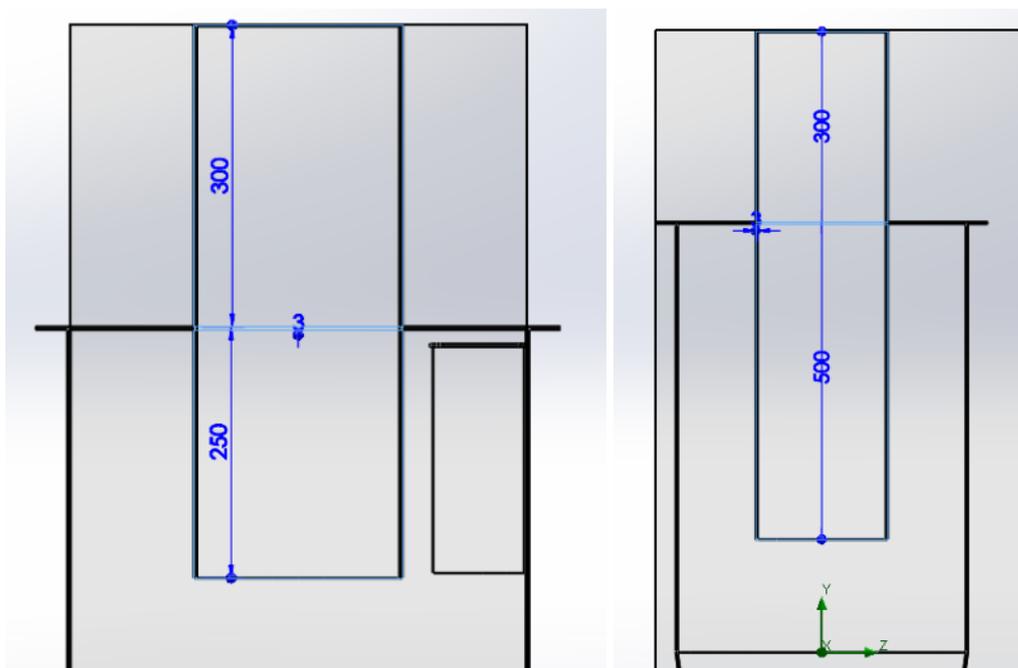


Рисунок 3. Представление размеров выхлопной трубы (составлено авторами)

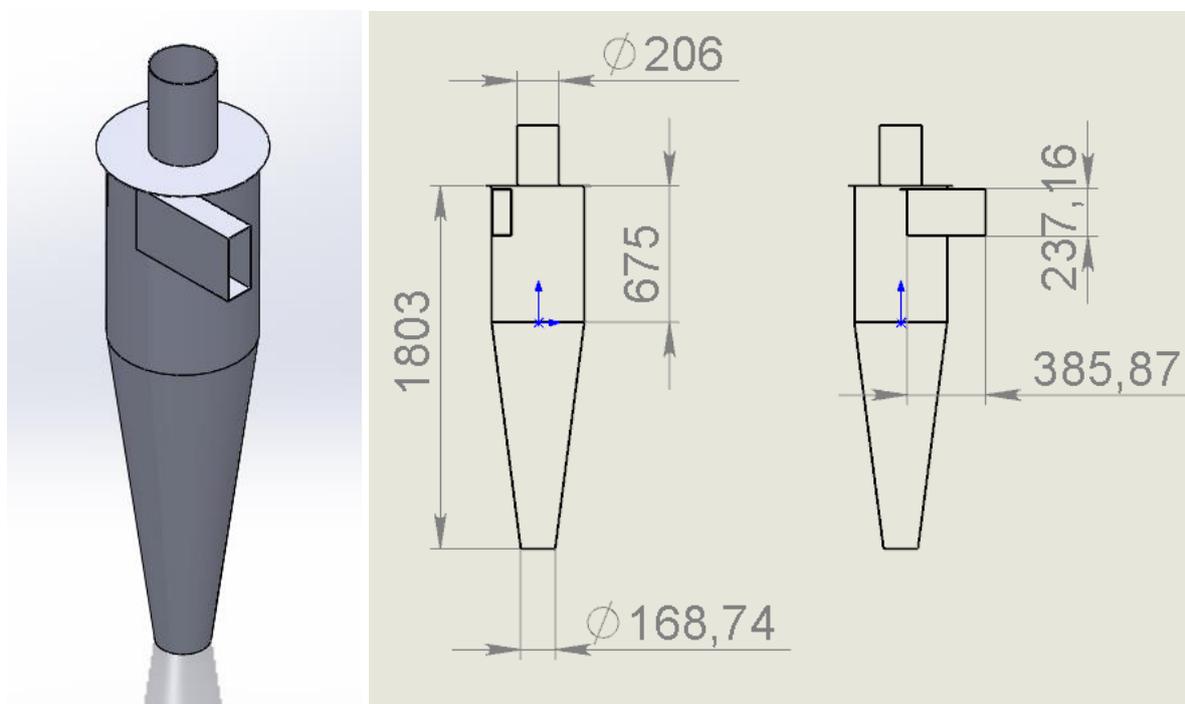


Рисунок 4. Изометрический вид модели с показом основных геометрических размеров (составлено авторами)

### Сгенерированная сетка

При компьютерном моделировании неотъемлемой частью является построение сетки, которая должна быть построена так, чтобы ее размеры с должной точностью передавали параметры изучаемого объекта и чтобы она не была настолько мелкой, что вычислительная техника не справлялась с процессом расчета.

Модуль расчета показал, что текучая среда была разбита на 31 791 ячейку. Внутренний объем созданного циклона равен  $0,211 \text{ м}^3$ , т. е. одна ячейка сетки содержит в себе  $6,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  объема, т. е. сгенерированная сетка в достаточной мере точная.

### Постановка задачи и моделирование

В расчетном модуле Flow Simulation необходимо задать граничные условия, такие как объемный расход на входе в циклон (данный показатель интерпретирует производительность устройства по воздуху) и давление на выходе из бункера и выхлопной трубы. После расчета статистических параметров потока воздуха и его траектории произвести включение в решатель аналогичных параметров фракций твердого вещества различной крупности.

Основные параметры задачи:

1. Объемная полость для расчета – внутренний объем циклона, основные размеры которого представлены на рисунке 2.
2. Уравнения, подключаемые к решателю: теплопроводности закон сохранения импульса, массы, энергии) и гравитации.
3. Объемный расход во входном патрубке согласно проанализированным источникам [8–11] на основе устройств с похожими геометрическими размерами:  $0,25\text{--}0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ .
4. Давление на выходе из бункера и выхлопной трубы: атмосферное.

Так же стоит отметить, что данная задача при моделировании имеет ряд допущений [1–7]:

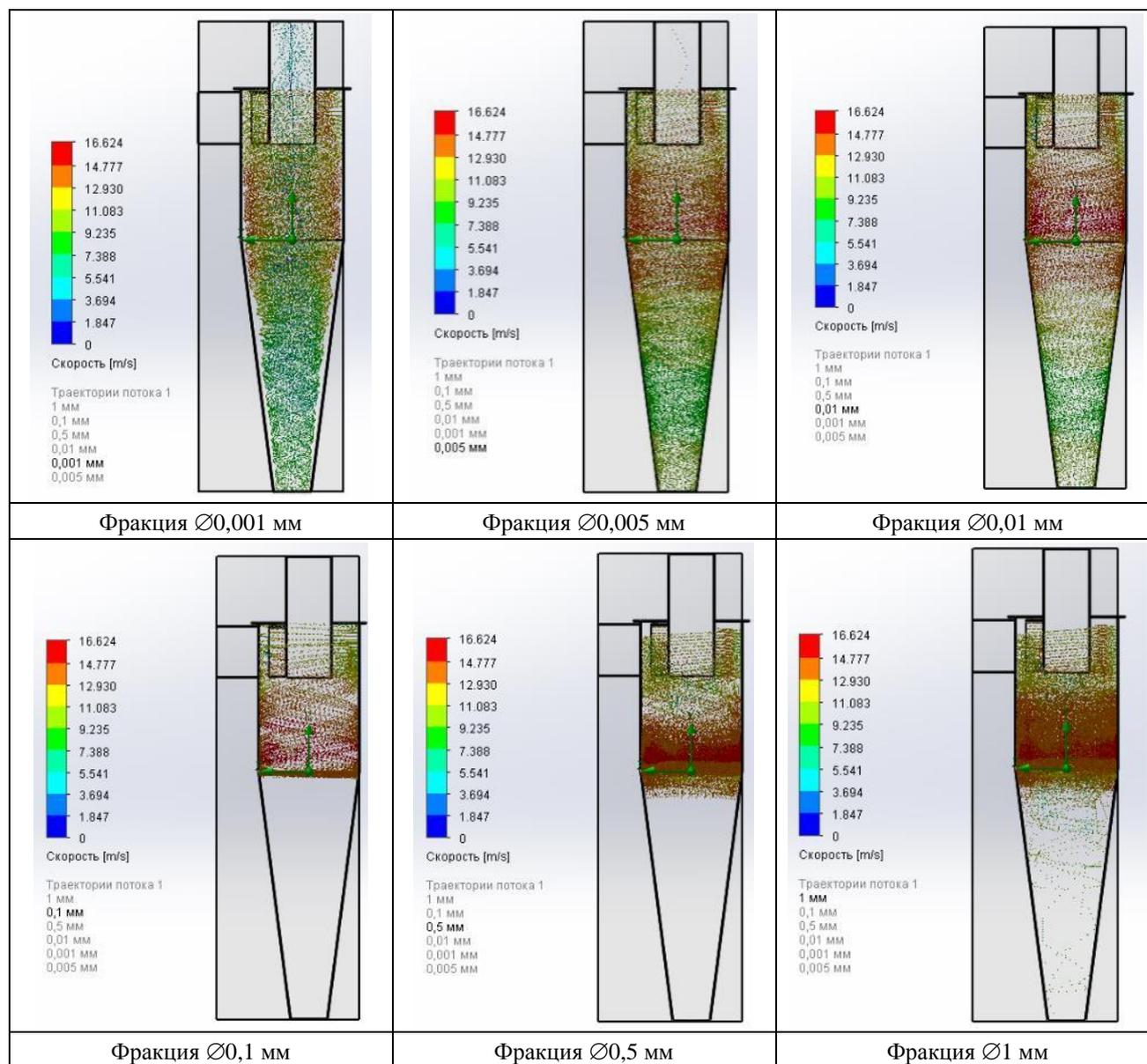
1. Форма частиц различных фракций – идеальная, т. е. сферическая.
2. На стенках циклона применено условие идеального отражения: без коагуляции, налипания и эрозии.
3. Частицы фракций при входе по площади сечения входного патрубка распределены равномерно.

### Результаты исследования влияния «заглубления» выхлопной трубы на эффективность очистки циклона

По результатам моделирования можно проанализировать не только статистические данные движения фракций различной крупности, но и пронаблюдать в разрезе траектории их движения. Эпюры распределения частиц фракций различной крупности по внутреннему пространству циклонного аппарата при «заглублении» выхлопной трубы в корпус циклона на 250 мм и объемного расхода  $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$  через входной патрубок представлены на рисунке 3. А на рисунке 4 представлены эпюры распределения частиц фракций  $\varnothing 0,001 \text{ мм}$ ,  $\varnothing 0,0025 \text{ мм}$  и  $\varnothing 0,005 \text{ мм}$  по внутреннему пространству циклонного аппарата при объемном расходе  $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  во входном патрубке при «заглублении» выхлопной трубы в 500 мм.

По полученным иллюстрациям невозможно судить в полной мере об эффективности циклона, однако можно проследить структуру поведения траектории частиц конкретной фракции, а также заметить вынос через выхлопную трубу частиц, например, как в обоих случаях на рисунках 5 и 6 у самой мелкой фракции частиц с  $\varnothing 0,001 \text{ мм}$ .

Основные выводы можно сделать на основе изучения статистических данных, т. е. зная, что через входной патрубок заходит 100 точек каждой фракции, проследить количество точек каждой фракции, вышедших через выхлопную трубу. Чем больше точек фракции вышло через выхлопную трубу, тем меньше эффективность очистки данной фракции.

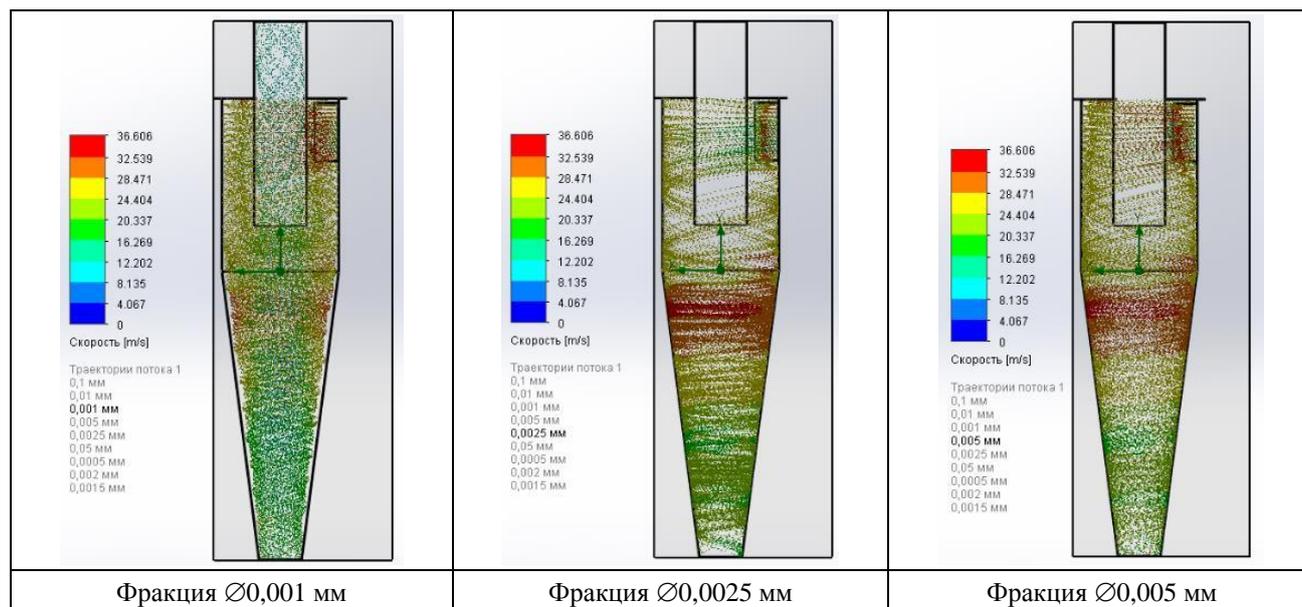


**Рисунок 5.** Эпюры распределения частиц фракций различной крупности по внутреннему пространству циклонного аппарата объемном расходе  $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$  во входном патрубке при «заглублении» выхлопной трубы в 250 мм (составлено авторами)

Так же не стоит не учитывать тот факт, что не весь объем воздуха, зашедший через входной патрубок во внутреннюю полость циклона, выходит через выхлопную трубу. Некоторая часть воздуха вместе с частицами твердого вещества уходит через бункер. Можно говорить о том, что чем выше доля очищенного воздуха относительно общего, зашедшего в циклон, тем косвенно выше его эффективность, т. е. тем меньше воздуха необходимо подвергать вторичной очистке.

Результаты значений процентного соотношения объема газа, вышедшего через выхлопную трубу, к объему, поступающему в циклон при разном «заглублении» выхлопной

трубы и различных значениях объемного расхода во входном патрубке приведены в таблицах 1 и 3.



**Рисунок 6.** Эпюры распределения частиц фракций  $\varnothing 0,001$  мм,  $\varnothing 0,0025$  мм и  $\varnothing 0,005$  мм по внутреннему пространству циклонного аппарата при объемном расходе  $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  во входном патрубке при «заглублении» выхлопной трубы в 500 мм (составлено авторами)

Результаты значений количества точек, вышедших через выхлопную трубу вместе с очищенным газом, при разном «заглублении» выхлопной трубы и различных значениях объемного расхода во входном патрубке приведены в таблицах 2 и 4.

**Таблица 1**

**Значения процентного соотношения объема газа, вышедшего через выхлопную трубу, к объему, поступающему в циклон при «заглублении» выхлопной трубы на 250 мм**

Объемный расход, $\text{м}^3/\text{с}$	0,25	0,325	0,5
Объем газа, вышедшего через выхлопную трубу, $\text{м}^3/\text{с}$	0,1256	0,1703	0,2587
Процентное соотношение объема газа, вышедшего через выхлопную трубу, к объему, поступающему в циклон, %	50,2	52,6	51,7

Составлено авторами

**Таблица 2**

**Значение количества точек, вышедших через выхлопную трубу вместе с очищенным газом, при «заглублении» выхлопной трубы на 250 мм**

Объемный расход, $\text{м}^3/\text{с}$	0,25	0,325	0,5
Количество точек, вышедших через выхлопную трубу с очищенным газом (из 100)			
0,0005 мм	31	36	35
0,0010 мм	30	35	30
0,0015 мм	31	0	0
0,0020 мм	29	0	0
0,0025 мм	20	0	0
0,0050 мм	1	0	0
0,0100 мм	0	0	0
0,0500 мм	0	0	0
0,1000 мм	0	0	0
0,5000 мм	0	0	0
1,0000 мм	0	0	0

Составлено авторами

Таблица 3

**Значения процентного соотношения объема газа, вышедшего через выхлопную трубу, к объему, поступающему в циклон, при «заглублении» выхлопной трубы на 500 мм**

Объемный расход, м <sup>3</sup> /с	0,25	0,325	0,5
Объем газа, вышедшего через выхлопную трубу, м <sup>3</sup> /с	0,1339	0,1712	0,2695
Процентное соотношение объема газа, вышедшего через выхлопную трубу, к объему, поступающему в циклон, %	53,56	52,8	53,9

Составлено авторами

Таблица 4

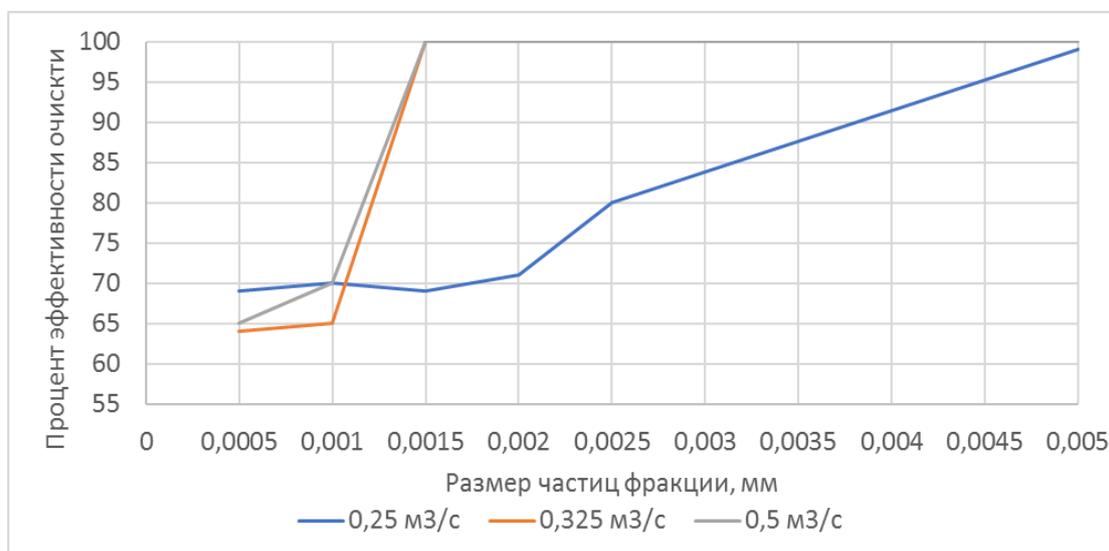
**Значение количества точек, вышедших через выхлопную трубу вместе с очищенным газом, при «заглублении» выхлопной трубы на 500 мм**

Объемный расход, м <sup>3</sup> /с	0,25	0,325	0,5
Количество точек, вышедших через выхлопную трубу с очищенным газом (из 100)			
0,0005 мм	42	39	39
0,0010 мм	42	39	35
0,0015 мм	39	37	30
0,0020 мм	38	0	0
0,0025 мм	39	0	0
0,0050 мм	30	0	0
0,0100 мм	0	0	0
0,0500 мм	0	0	0
0,1000 мм	0	0	0
0,5000 мм	0	0	0
1,0000 мм	0	0	0

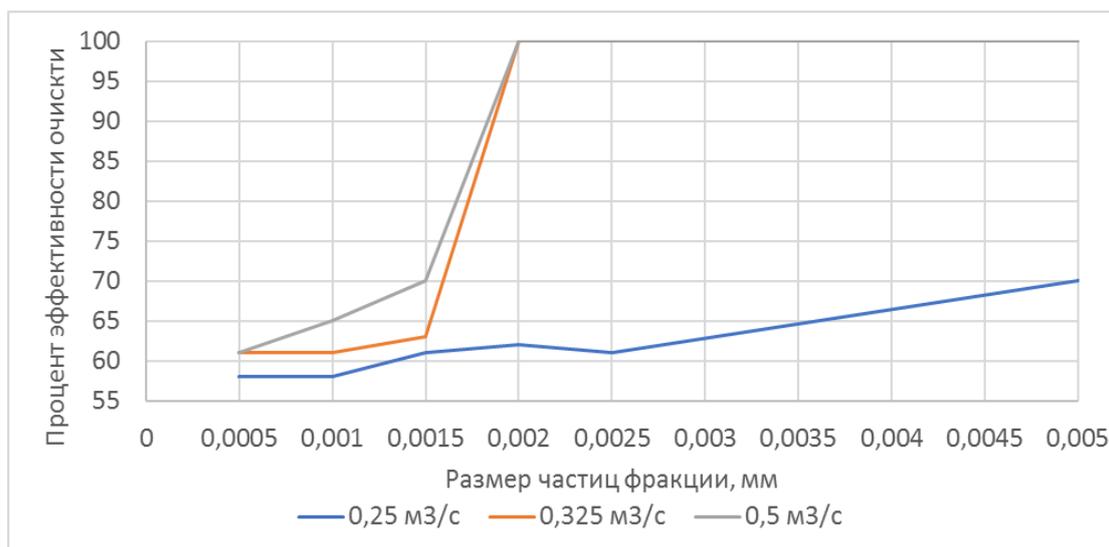
Составлено авторами

По результатам моделирования, анализируя полученные таблицы 1 и 3, можно утверждать, что для данного циклона «заглубление» выхлопной трубы в корпус циклона не дает значительного повышения увеличения доли объема очищенного воздуха, проходящего через выхлопную трубу.

На основе данных таблиц 2 и 4 приведем графики эффективности очистки для каждой из моделей при различном объемном расходе во входном патрубке. Полученные графики отобразим на рисунке 7 и 8.



**Рисунок 7. График эффективности очистки циклона с «заглублением» выхлопной трубы на 250 мм в корпус (составлено авторами)**



**Рисунок 7.** График эффективности очистки циклона с «заглублением» выхлопной трубы на 500 мм в корпус (составлено авторами)

Как видно из рисунков 7 и 8, наибольшую эффективность показали модели с граничным условием входного объемного расхода во входной патрубке в 0,5 м³/с. Возможно, при дальнейшем увеличении объемного расхода эффективность циклона продолжала бы расти, но в данном исследовании проводилось моделирование при анализе параметров схожих по геометрическим размерам цилиндрических циклонов из источников<sup>1,2,3,4</sup>

На основе анализа рисунков 7 и 8, можно прийти к выводу, что при равных условиях для данного циклона исполнение с «заглублением» выхлопной трубы в корпус на 250 мм (или на уровень равный уровню установки входного патрубка, как видно на рисунке 3) дает большую эффективность, чем при «заглублении» на 500 мм, и эффективность в 100 % он будет давать уже для частиц размером от 0,0015 мм.

## Вывод

На основе исследований можно утверждать, что при проектировании циклонов необходим просчет не только таких параметров, как его производительность, диаметр корпуса, длины, но и геометрических размеров выхлопной трубы, так как она так же влияет на значение эффективности очистки.

<sup>1</sup> Технические характеристики циклонов ЦН-15 // Концерн Медведь Юг. URL: <https://kalorifer.net/product/ciklon-cn-15/tehnicheskie-harakteristiki-ciklonov-cn-15/> (дата обращения: 20.07.2020).

<sup>2</sup> Циклоны НИИОГаз типа ЦН-15 для сухой очистки газов и аспирационного воздуха в технологических процессах // Евромаш. URL: <http://www.evromash.ru/catalog/venti/pa/cyklon/cn-15/> (дата обращения: 20.07.2020).

<sup>3</sup> Циклоны для мелкой пыли разработки НИИОГАЗа // Завод технологического оборудования "Формула". URL: [https://e-formula.ru/Cyclons/Cyclons\\_index.htm](https://e-formula.ru/Cyclons/Cyclons_index.htm) (дата обращения: 20.07.2020).

<sup>4</sup> Циклоны типа ЦН-15 // Котельный завод Сибири. URL: <http://aneko.ru/tsiklony-zolouloviteli/tsiklony-tipa-tsn-15> (дата обращения: 20.07.2020).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Асламова В.С. Прямоточные циклоны. Теория, расчёт, практика. Ангарск: Ангарская государственная техническая академия, 2008. 233 с.
2. Бирюк В.В. Вихревая очистка газа наддува топливных баков / Бирюк В.В., Шиманов А.А., Оноприенко Д.А., Смородин А.В., Шепелев А.И., – Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2015. Т. 14. № 1. С. 112–120.
3. Кузнецов С.И. Моделирование работы высокоэффективного циклонно-ротационного пылеуловителя / Кузнецов С.И., Михайлик В.Д., Русанов С.А., – Вестник ХНТУ, 2009, № 3(36), с. 81–85.
4. Тарасова Л.А. Повышение технологической эффективности аппаратов вихретокового типа в системах газоочистки. Дисс. ... д-ра техн. наук. Москва, 2010. 34 с.
5. Безик Д.А. Автоматизация расчета параметров циклона на основе математического моделирования процесса пылеулавливания. Дисс. ... канд. техн. наук. Брянск, 2000. 150 с.
6. Асламова В.С. Процесс сепарации в высокопроизводительных прямоточных циклонах и методы их расчета. Дисс. ... д-ра техн. Наук. Томск, 2009. 377 с.
7. Роман К.С., Иншаков Р.С., Липатова А.В., Дудин Р.В., Дербичев В.С., Балабуха А.В. Анализ эффективности очистки газа от механических примесей цилиндрическим циклоном с помощью компьютерного моделирования // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, <https://esj.today/PDF/24SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**Chemezov Il'ya Igorevich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: chemezov.ii@students.dvfu.ru

**Lechenko Gennady Evgenievich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: lechenko.ge@students.dvfu.ru

**Volkov Kirill Romanovich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: volkov.vk@students.dvfu.ru

**Masleev Alexander Vladimirovich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: masleev.av@students.dvfu.ru

**Goncharova Victoria Vladimirovna**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: goncharova.vv@students.dvfu.ru

**Eroshkin Dmitry Vladimirovich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: eroshkin.dv@students.dvfu.ru

## **Analysis of the influence of the geometric dimensions of the cyclone exhaust pipe on the degree of its cleaning using computer modeling**

**Abstract.** The selection of the optimal geometric dimensions and parameters for the operation of industrial equipment is always an urgent issue. As with cylindrical cyclones, it is known that its efficiency is directly affected by the input flow rate of dusty air, the diameter of the body and its length. This paper analyzes the influence of the geometric dimensions of the exhaust pipe on the efficiency of the cyclone cleaning. The study was carried out in the engineering software SolidWorks 2016 using the addition of Flow Simulation, designed to simulate hydrodynamic processes. The relevance of the selected research topic was indicated. Two models of the same cyclone were built, but with different "deepening" of the exhaust pipe into the device body. The object of the study was a stream of dusty air with solid particles in it. The modeling process is fully described, namely, the formulation of the problem, the setting of boundary conditions, and the enumeration of assumptions. Based on the results of the work, the values of the number of points of various fractions were obtained, which came out through the exhaust pipe along with the purified gas. Based on the results of these values, a conclusion was made about the efficiency of the cyclone when changing the "deepening" of the exhaust pipe into the cyclone body. The results are tabulated. Also presented are some diagrams of distribution of velocities and trajectories of flows of fractions of various sizes with a change in the input flow rate, obtained during the simulation. The work also contains 4 tables and 7 figures, which mainly reflect the results obtained in the course of modeling and subsequent processing of statistical indicators.

**Keywords:** gas supply; mechanical impurities; fractions of various sizes; particles; cleaning; cyclone; centrifugal forces; modeling; Flow Simulation; SolidWorks; exhaust pipe