

УДК 628.511

**С. М. ОРЛОВ, А. В. АНИСОЧКИН, А. Я. ОРЛОВА**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОНОВ**

Циклоны являются наиболее характерными представителями сухих инерционных пылеуловителей. Циклоны зачастую используются в качестве первой ступени очистки перед аппаратами тонкого пылеулавливания. Аппараты второй ступени (рукавные, электрофильтры и др.) требуют значительно больших капитальных и эксплуатационных затрат, поэтому вопрос совершенствования циклонов с целью уменьшения объемов газов, направляемых на аппараты второй ступени очистки, является актуальным. Восходящий, как и нисходящий, поток имеет вихревой характер. С восходящим потоком выносятся в основном мелкодисперсная пыль, которая ввиду вихревого характера выносятся на периферию восходящего потока (о чем говорит абразивный износ внутренней поверхности выхлопной трубы). Поэтому на выходе из циклона необходимо установить диафрагму, через которую производить отсос части газа с мелкодисперсной пылью.

**циклон, нисходящий и восходящий вихревые потоки, мелкодисперсная пыль, диафрагма**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Проведен анализ работы циклона как первой ступени очистки газа от пыли, на основании которого было установлено, что при существующих схемах очистки газа от пыли аппараты тонкой очистки рассчитываются на весь объем газа. Полностью не исследован вопрос концентрации пыли в выхлопной трубе. Обосновано, что проведение данных исследований позволит усовершенствовать циклон, который используется как первая ступень очистки. Это позволит существенно уменьшить объемы газа, направляемых на аппараты тонкой очистки и получить большой экономический эффект.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Теории циклонной сепарации посвящено множество работ. Формулы различаются по написанию, но все выводятся из одного и того же условия, а именно равенства центробежной силы силе сопротивления среды [1]. Также при рассмотрении условий сепарации циклона в расчет берется только нисходящий вихревой поток. У всех исследователей считается, что частицы пыли, находящиеся в нисходящем вихревом потоке, под действием центробежных сил отбрасываются на периферию нисходящего потока. Частицы пыли, масса которых достаточная, успевают приблизиться к стенкам циклона и считаются уловленными. Эти допущения показывают высокую степень очистки, однако на практике наблюдается проскок достаточно крупных частиц. Исследователями не брался в учет восходящий поток, который также имеет вихревой характер, а следовательно и сепарационные свойства.

### **ЦЕЛЬ И ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Целью данной работы является усовершенствование промышленных циклонов, в которых использовались бы сепарационные свойства восходящего вихревого потока, что позволило бы уменьшить производительность аппаратов тонкой очистки в несколько раз и повысить энергетическую эффективность данных циклонов.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Существует множество схем обеспыливания газов в зависимости от источника пылеобразования, где циклоны применяются в качестве первой ступени очистки.

Аппараты второй ступени рассчитываются на весь объем газа, подлежащего очистке [2, 3, 4, 5]. Аппараты второй ступени (рукавные, электрофильтры и др.) требуют значительно больших капитальных и эксплуатационных затрат, поэтому вопрос совершенствования циклонов, направленный на уменьшение объемов газов, направляемых на аппараты второй ступени очистки является чрезвычайно актуальным.

Рассмотрим пылеулавливание в циклонах как процесс, состоящий из семи участков, границы которых обусловлены конструкцией циклона по ходу движения потока (рис.): 1 участок – от входа в циклон до нижнего среза выхлопной трубы, 2 участок – от нижнего среза выхлопной трубы до конца цилиндрической части циклона, 3 участок – коническая часть циклона, 4 участок – бункер, 5 участок – восходящий поток в конической части циклона, 6 участок – от начала цилиндрической части циклона до нижнего среза выхлопной трубы, 7 участок – выхлопная труба. На рис. приведено схематическое изображение циклона с выделением данных участков.

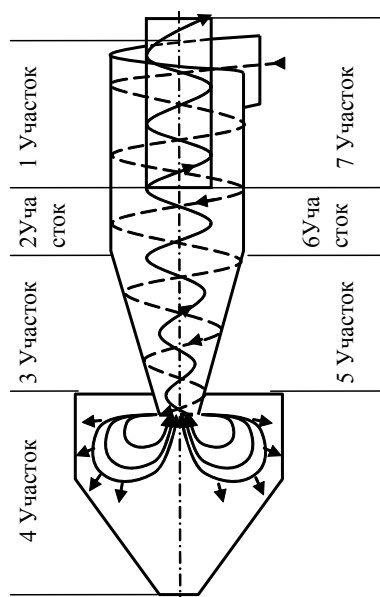


Рисунок – Схема расположения зон в циклоне по ходу движения потока.

Движение частиц пыли в вихревом как нисходящем, так и восходящем потоке на каждом участке имеет самостоятельный достаточно сложный характер, поэтому необходимо проанализировать методы расчета сепарации частиц пыли и движения транспортирующей среды.

Методы расчета сепарации частиц из закрученного потока основаны на следующих моделях [6]:

1. Траекторных, в которых определяется положение частицы в сепарационном пространстве относительно выходного сечения пылеуловителя.
2. Вероятностно-стохастических, рассматривающих движение частиц как случайный процесс, на который накладывается воздействие детерминированного характера.
3. Турбулентного переноса, в том числе и конвективной диффузии.
4. Аналитический расчет траекторий частиц и эффективности осаждения их в циклоне возможен только при введении значительных упрощений.

Описание движения закрученного транспортирующего потока основано, как правило, на одном из четырех различных подходов.

При первом подходе течение представляется в виде наложения плоского стока на потенциальное вращение. Методика расчета опирается на использование эмпирических коэффициентов и предусматривает определение только гидравлического сопротивления.

Во втором подходе для описания движения закрученного потока используется уравнение Бернулли и экстремальный принцип для одной из характеристик потока при сохранении вдоль радиуса канала момента количества движения, основанный на теории движения жидкости в центробежной форсунке.

Недостатками такого подхода является грубая схематизация течения и отсутствие учета особенностей движения в приосевой зоне канала.

Третий подход основан на применении уравнения Бернулли для движения жидкости в спиральной камере. Метод требует предварительного определения ряда характеристик, зависящих от геометрических параметров канала, и не предусматривает определения всех составляющих скорости. Недостатки указанных методов значительно сужают область их применения для расчета закрученного потока.

В четвертой группе методов описание осесимметричного движения сплошной фазы с вращением базируется на использовании дифференциальных уравнений Навье-Стокса, которые упрощаются в зависимости от постановки задачи и принятой физической модели течения, а также уравнений неразрывности, сохранения энергии и состояния с использованием эмпирических зависимостей для вязкости.

При моделировании динамики многофазных сред используют следующие подходы:

1. Основным объектом исследования является сплошная среда, а дисперсная среда учитывается как дополнительное явление через концентрацию фаз, сил их взаимодействия и т. д. Однако использование для каждой из фаз полной системы уравнений сохранения, записанных в эйлеровой системе координат, вызывает большие сложности в получении решения.

Достаточно подробно в работе [6] изучены характер и особенности движения однофазных и двухфазных закрученных потоков в циклонных аппаратах.

2. Основным объектом исследования является дисперсная среда. При этом расчет движения частицы обычно базируется на уравнении динамики материальной точки, записанном в лагранжевой системе координат. В этом случае влияние сплошной среды определяется через коэффициент сопротивления частицы в неоднородной среде, который определяется из опыта.

Наличие частиц в уравнениях сплошной среды учитывается через эффективную вязкость.

В реальном случае траектория частицы не может совпадать с траекторией средней скорости основного потока, поскольку локальные компоненты тензора напряжений для двумерного вихревого потока, влияющие на траекторию частицы, неоднородны. К тому же такой подход не может воспроизвести полную картину траектории частицы в вихревом потоке. В этом состоит существенный недостаток данного подхода.

3. Перспективным является комбинация этих двух подходов, когда векторное уравнение движения дисперсной частицы в лагранжевой системе координат решается совместно с уравнением движения сплошной среды в эйлеровой системе координат.

4. При моделировании гидро- и газодисперсных потоков используют, как правило, методы кинетической теории газов. Хорошо разработан метод дискретных элементов, в рамках которого рассматривается движение огромного количества частиц с использованием метода Монте-Карло для описания стохастического процесса взаимодействия между частицами, а также частиц со стенкой. Метод отличается большой сложностью, требует применение суперкомпьютеров.

Кинетический подход допускает, что помимо осредненной составляющей скорости частица характеризуется также хаотической составляющей. Основным параметром модели при таком подходе является температура дискретной среды, которая характеризует хаотическое движение частиц. Вязкость среды, рассчитываемая методами теории неоднородного газа, позволяет учесть напряжения, вызываемые хаотическим движением частиц. Поскольку трение частиц определяется сдвиговыми напряжениями у стенки, дисперсный поток рассматривают как сплошную среду и его движение описывают законами движения жидкости и газа.

## ВЫВОДЫ

1. Задача экспериментального измерения поля скоростей в циклонных пылеуловителях трудно реализуема на практике, поэтому для его определения необходимо использовать численные методы решений уравнений Навье-Стокса.

2. Решение уравнений Навье-Стокса в переменных «функция тока-вихрь» целесообразно при моделировании длительных нестационарных процессов. Для решения уравнений в частных производных следует использовать сеточные методы.

3. Аналитический расчет траекторий частиц и эффективности осаждения их в циклоне возможен только при введении значительных упрощений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордон, Г. М. Пылеулавливание и очистка газов [Текст] / Г. М. Гордон, И. Л. Пейсахов. – М. : Стройиздат, 1968. – 499 с.
2. Луговский, С. И. Совершенствование систем промышленной вентиляции [Текст] / С. И. Луговский, Г. К. Дымчук. – М. : Стройиздат, 1991. – 174 с.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию [Текст] / Под ред. А. А. Русанова. – М. : Энергия, 1975. – 296 с.
4. Алиев, Г. М.-А. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок [Текст] / Г. М.-А. Алиев. – М. : Металлургия, 1988. – 368 с.
5. Василевский, М. В. Расчет эффективности очистки газа в инерционных аппаратах [Текст] / М. В. Василевский, Е. Г. Зыков. – Томск : ТПУ, 2005. – 86 с.
6. Гупта, А. Закрученные потоки [Текст] / А. Гупта, Д. Лилли, Н. Сайред. – М. : Мир, 1987. – 588 с.

Получено 20.03.2014

### С. М. ОРЛОВ, О. В. АНИСОЧКИН, А. Я. ОРЛОВА ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИКЛОНІВ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Циклони є найбільш характерними представниками сухих інерційних пиловловлювачів. Циклони часто використовуються як перший ступінь очищення перед апаратами тонкого пиловловлення. Апарати другого ступеня (рукавні, електрофільтри і ін.) вимагають значно більших капітальних і експлуатаційних витрат, тому питання вдосконалення циклонів з метою зменшення об'ємів газів, що спрямовуються на апарати другого ступеня очищення, є актуальним. Висхідний, як і спадний потоки мають вихровий характер. З висхідним потоком вноситься в основному дрібнодисперсний пил, що, зважаючи на вихровий характер, вноситься на периферію висхідного потоку (про що говорить абразивне стирання внутрішньої поверхні вихлопної труби). Тому на виході з циклону необхідно встановити діафрагму, через яку проводити відсмоктування частини газу з дрібнодисперсного пилу.

**циклон, спадний і висхідний вихрові потоки, дрібнодисперсний пил, діафрагма**

### STANISLAV ORLOV, ANDREI ANISICHKIN, ALLA ORLOVA APPROACHES TO THE SOLUTION OF TASKS ON IMPROVEMENT ENERGY EFFICIENCY CYCLONES

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Cyclones are the most typical representatives of dry inertial collectors. Cyclones often use as the first stage of purification before apparatus fine dust collection. The machines of the second stage (bag, electrostatic precipitators and other) require more capital and operating costs, so the question of improvement of cyclones, aimed at reducing gas emissions allocated to the units of the second stage of purification is relevant. Upward, as the downward flows have a vortex character. With upward flow is made mostly fine dust, which in view of a vortex character shall be submitted to the periphery of the upstream (as evidenced by the abrasive wear of the inner surface of the exhaust pipe). The output from a cyclone, you must install the aperture through which to produce the suction part of the strip with fine-dispersed dust.

**cyclone, a descending and an ascending vertical flows, fine dust, aperture**

**Орлов Станіслав Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехніки і автоматики Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: автоматизація процесів і апаратів систем теплогазопостачання і вентиляції.

**Анісочкин Андрій Вячеславович** – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вентиляція і кондиціювання приміщень житлових і громадських будівель.

**Орлова Алла Яківна** – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вентиляція і кондиціювання приміщень житлових і громадських будівель.

**Орлов Станислав Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехника и автоматики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: автоматизация процессов и аппаратов систем теплогасоснабжения и вентиляции.

**Анисочкин Андрей Вячеславович** – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: вентиляция и кондиционирование помещений жилых и общественных зданий.

**Орлова Алла Яковлевна** – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогасоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: вентиляция и кондиционирование помещений жилых и общественных зданий.

**Orlov Stanislav** – PhD (Eng.), an Associate Professor, Electrical Engineer and Automatics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: automation of processes and devices of systems heat and gas supply and ventilation.

**Anisichkin Andrei** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: ventilation and conditioning of dwelling and public premises.

**Orlova Alla** – senior lecturer, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: ventilation and conditioning of dwelling and public premises.