

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ В ВИХРЕВОМ СКРУББЕРЕ

*Бахронов Х.Ш. - Навоийский государственный
горный институт профессор, доктор
технических наук
E-mail: bahronov040861@mail.ru*

*Ганиева С.У. Навоийский государственный
горный институт сотрудник центра обучения
цифровых технологий
E-mail: ganiyevasaboxat929@gmail.com*

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению эффективности пылеулавливания в вихревом аппарате с тангенциальной завихрителем потока газа и жидкости при различных режимных параметрах. Установлено, что при увеличении концентрации пыли повышается и эффективность работы аппарата. В вихревом аппарате эффективность пылеулавливания существенно повышается при увеличении осевой скорости потока. Такая картина обусловлена повышением центробежной силы и фактора разделения, которые пропорциональны на второй степени средне расходной скорости потока газа. Эффективность пылеулавливания повышается, также при росте размеров частиц пыли. Установлены оптимальные режимы работы разработанного вихревого аппарата, с точки зрения эффективности пылеулавливания вихревого аппарата.

Ключевые слова: вихревой аппарат, тангенциальный завихритель, коэффициент крутки, пылеулавливание, циклон, скорость газа, концентрация, плотность орошения, размеры частиц.

Annotation. The results of experimental studies to determine the efficiency of dust collection in a vortex apparatus with a tangential swirl of gas and liquid flow at various operating parameters are presented. It was found that with an increase in the dust concentration, the efficiency of the device also increases. In a vortex apparatus, the efficiency of dust collection increases significantly with an increase in the axial flow velocity. This pattern is due to an increase in the centrifugal force and the separation factor, which are proportional to the second degree of the average flow rate of the gas flow. The efficiency of dust collection increases, also with an increase in the size of dust particles. The optimal operating modes of the developed vortex apparatus have been established, in terms of the efficiency of dust collection of the vortex apparatus.

Keywords: vortex apparatus, tangential swirled, twist coefficient, dust collection, cyclone, gas velocity, concentration, irrigation density, particle sizes.

ВВЕДЕНИЕ

Очистка пылегазовых смесей традиционным отечественным оборудованием типа циклонов не удовлетворяет возросшим экологическим требованиям и создает проблемы охраны окружающей среды. Одной из приоритетных задач современной промышленности является разработка современного эффективного высокопроизводительного оборудования, сочетающего в себе решение экологических проблем производства.

Существующие схемы очистка газов не всегда эффективны и требуют больших капитальных вложений и эксплуатационных затрат вследствие того, что очистное



оборудование состоит в основном из низкоинтенсивных аппаратов, традиционно применяемых в промышленности для абсорбции.

В связи с этим большой интерес представляет использование для целей очистки газовых выбросов вихревых аппаратов и в частности, вихревых камер, отличающихся высокой эффективностью и пропускной способностью по газовой фазе, активными гидродинамическими режимами взаимодействия газа с жидкостью и компактностью проектируемых на их основе очистных устройств.

Основными достоинствами вихревых пылеуловителей по сравнению с циклонами являются более высокая производительность и эффективность улавливания мелкодисперсной пыли, отсутствие абразивного износа внутренних поверхностей аппарата, возможность очистки газов с более высокой температурой за счет присутствия промывающей жидкости и возможность регулирования пылеулавливания за счет изменения подачи газа [4].

Аппараты вихревого типа обладают рядом достоинств, что выгодно отличает их от других аппаратов «мокрой» очистки. Возможна совместная очистка газов от газообразных и дисперсных включений. Они обладают большой пропускной способностью по газу, что позволяет очищать крупнотоннажные выбросы [1-3]. Вихревые аппараты устойчиво работают в широких диапазонах рабочих нагрузок по газу и жидкости, имеют малые габариты и сравнительно простое конструктивное оформление.

Однако в настоящее время отсутствуют теоретические и экспериментальные основы исследований гидродинамики, структуры потоков, пылеулавливания и массообмена в аппарате с вращательно-вихревым взаимодействием фаз, доведенные до практического применения, что сдерживает их широкое использование в промышленности.

В связи с этим проведение исследований с целью расширения области применения и повышение эффективности, грамотного проектирования и умелого использования вихревых устройств, является актуальной, так как представляет как научный, так и практический интерес.

Нами разработана конструкция вихревого пылеуловителя, которого можно использовать как «сухом», так и «мокрым» режимах очистки газа от твердой фазы. Аппараты мокрой газоочистки позволяют улавливать даже мелкие частицы, и, следовательно, они могут обеспечивать довольно высокий уровень очистки газа, сопоставимый с такими высокоэффективными аппаратами как электрофильтры. Предложенного центробежного скруббера с жидкостной пленкой можно использовать не только для мокрого пылеулавливания, но и они могут быть использованы для проведения процессов абсорбции, ректификации и контактного теплообмена.

В настоящей статье описывается исследование эффективности разработанного вихревого аппарата, при проведении процесса пылеулавливания, в зависимости от расходных параметров газа и жидкости. Эффективности пылеулавливания определялись как для «сухого», так и для «мокрого» режимов.

ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА

Проведены экспериментальные исследования по определению эффективности пылеулавливания в вихревом аппарате «мокрым» способом. Определены влияние размеров рабочих элементов аппарата, скорости газовой фазы и расхода жидкости на эффективность процесса улавливания пыли. Выбраны оптимальные значения размеров аппарата, скорости газа и расхода жидкости с точки зрения интенсивности

пылеочистки. На основе полученных результатов разработана конструкция высокоэффективного пылеуловителя, внедрена в промышленность и испытана.

Для изучения эффективности пылеулавливания вихревого аппарата с закрученным потоком газа, изготовлена и смонтирована экспериментальная установка (рис. 1). Исследование интенсивности пылеулавливания в вихревом аппарате проводилось по общепринятой методике. Экспериментальная установка состоит из прямого вихревого аппарата 1 с закрученными нисходящими потоками газа и жидкости, вентилятора для перемещения газа 5, центробежного насоса, для циркуляции жидкости (на рисунке не указано), запорно-регулирующих арматур, средств измерения и контроля. Размеры рабочей части опытного вихревого аппарата имеют значения: диаметр $D=0,056\pm 0,1$ м, высота $0,5\pm 1$ м. В качестве рабочих сред использованы атмосферный воздух, пыль песка и водопроводная вода.

Воздух подавался вентилятором 5 в верхнюю часть аппарата через тангенциальные завихрители потока газа 2. Вода также центробежным насосом из расходной емкости подавалась на верхнюю часть вихревого аппарата через тангенциальные завихрители потока жидкости 3. Для обеспечения гидродинамической устойчивости, вращающегося потоков газа и жидкости в аппарате, производилась тангенциальная подача, как газа, так и жидкости с вращением их в одну сторону. Отработанный воздух выбрасывается по воздуховоду в атмосферу.

Расход газовой фазы измерялся с помощью вихревого расходомера типа Prowirl. Расход жидкости измерялся ротаметрами типа РС 7, регулировался вентилями, установленными на линии подачи жидкости и на линии байпаса насоса.

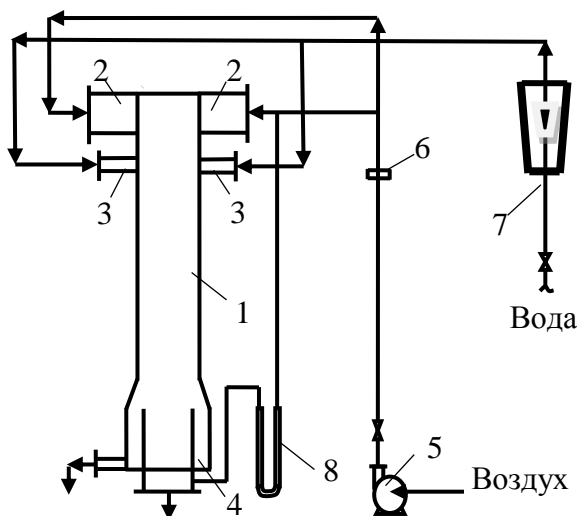


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 - рабочая камера вихревого аппарата; 2 - тангенциальные завихрители газа; 3 - тангенциальные завихрители жидкости; 4 - сепаратор; 5 - вентилятор; 6 - расходомер воздуха; 7 - расходомер воды; 8 - U-образный водяной дифманометр

Высокая эффективность пылеулавливания аппарата достигалась за счет организации движения закрученных нисходящих потоков очищаемого газа и промывающей жидкости. Основная сепарация пыли осуществляется в рабочей зоне аппарата, окончательное в бункере-сепараторе, где происходит также разделение газа от жидкости.

Исследования пылеулавливания вихревым аппаратом проводились при небольшом избыточном давлении газа на системе «воздух-вода» в изотермических



условиях, когда температура газа и жидкости были равны и составляли 20 ± 2 °С, избыточное давление аппарата и подводящей газовой линии, и составляло $5 \div 6$ кПа.

Экспериментами был охвачен следующий диапазон изменения параметров: коэффициент крутки: $A = F_{\text{ап}}/F_{\text{щ}} = 2,1 \div 3$; скорость газового потока в завихрителях w_3 в диапазоне $20 \div 60$ м/с; среднее расходная осевая скорость газа в рабочей зоне аппарата $w_0 = 10 \div 60$ м/с; число Рейнольдса для газа $Re = 53000 \div 200000$; соотношения массовых расходов жидкости и газа, поступающих в вихревой аппарат, в диапазоне $L/G = 0,3 \div 2$.

Проведенные экспериментальные исследования гидродинамики вихревого аппарата показали, что с ростом расхода жидкости увеличивается перепад давления и при $L/G > 2$ появляется унос жидкости. В связи с этим, принимали $L/G < 2$.

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований пылеулавливания, полученных в вихревом аппарате диаметром $D = 0,1$ м, высотой рабочей зоны $H_p = 1,0$ м, коэффициентом крутки $A = F_{\text{ап}}/F_{\text{щ}} = 2,1$ при следующих режимных параметрах: средние расходных скоростях газа $w_0 = 12 \div 28,5$ м/с; отношениях массовых расходов жидкости и газа $L/G = 0,36 \div 1,2$.

Для подачи пыли песка в газовый поток использовалось специально изготовленное запыливающее устройство - дозатор. Использованный дозатор пыли позволял создавать запыленность газа (воздуха) до $2,5$ кг/м³.

Общая эффективность пылеулавливания η определялась по уравнению [3]:

$$\eta = (C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}})/C_{\text{вх}} \quad (1)$$

где $C_{\text{вх}}$, $C_{\text{вых}}$ - объемные концентрации соответственно на входе в аппарат и выходе из него, кг/м³.

В качестве модельной пыли использовался песочный пыль, дисперсный состав которого приведен в таблице 1.

Таблица 1. Дисперсный состав одной из партии пыли песка.

Диаметр частиц	менее 1 мкм	1-3 мкм	3-5 мкм	5-10 мкм	более 10 мкм
Количество, %	1,2	9,3	11,2	26,1	52,2

Концентрация пыли на входе в аппарат $C_{\text{вх}}$ определялась по формуле:

$$C_{\text{вх}} = m_1 / (\tau \cdot V_{\text{вз}}) \quad (2)$$

где m_1 - масса пыли, помещенная в дозатор, кг; τ - время полного истечения пыли из дозатора, ч; $V_{\text{вз}}$ - объемный расход воздуха, м³/ч.

На выходе из аппарата запыленность воздуха определялась с помощью отбора проб на прямом участке газотока.

Концентрация пыли на выходе из аппарата $C_{\text{вых}}$ определялась по формуле:

$$C_{\text{вых}} = m_2 / (\tau \cdot V_{\text{вз}}) \quad (3)$$

Результаты экспериментальных исследований работы аппаратов вихревого аппарата приведены на рис. 2 в виде зависимости эффективности пылеулавливания аппарата от относительной концентрации очищаемой пылевоздушной смеси. Концентрации очищаемой пылевоздушной смеси оказывает влияние на эффективности пылеулавливания вихревого аппарата следующим образом: при увеличении концентрации пыли повышается и эффективность работы аппарата. Это можно объяснить увеличением столкновений пылевых частиц, в результате чего происходит некоторое их укрупнение. При $C > 20\%$ влияние относительной концентрации очищаемой пылевоздушной смеси и соответственно, рост степени эффективности снижается. Такого явления можно объяснить уменьшением укрупнение частиц.

На рис. 3 приведена зависимость эффективности пылеулавливания вихревого аппарата от средне расходной скорости потока в поперечном сечении аппарата. Видно, что в вихревом аппарате эффективность пылеулавливания существенно повышается при увеличении осевой скорости потока газа и при 17-20 м/с достигает до 99,8-99,9 %. Такая картина обусловлена повышением центробежной силы и фактора разделения, которые пропорциональны на второй степени средне расходной скорости потока газа w_0^2 .

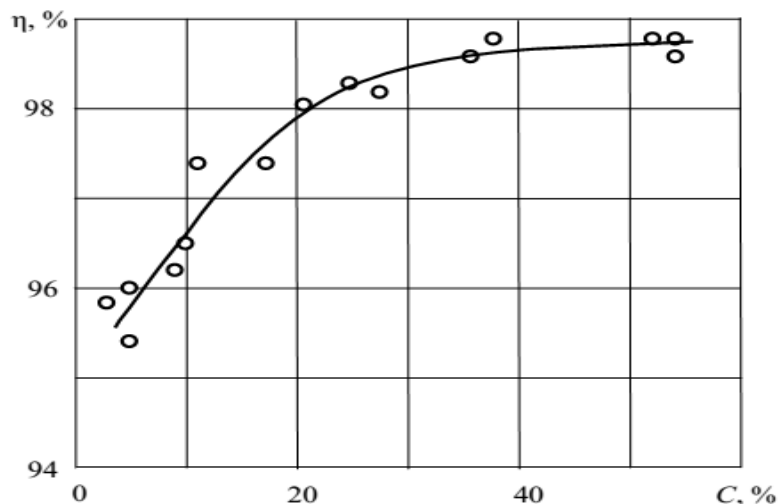


Рис. 2. Зависимость эффективности пылеулавливания вихревого аппарата от относительной концентрации очищаемой пылевоздушной смеси.

Зависимость эффективности пылеулавливания вихревого аппарата от размера частиц приведена на рис. 4. Видно, что с ростом размера частиц эффективность улавливания повышается, что является естественным. С ростом расхода жидкости улучшается, во-первых, промывание газа, во-вторых, улавливание частиц, за счет увеличения толщины пленки воды у стенки аппарата. В результате повышение расхода жидкости также приведет к увеличению эффективности пылеулавливания.

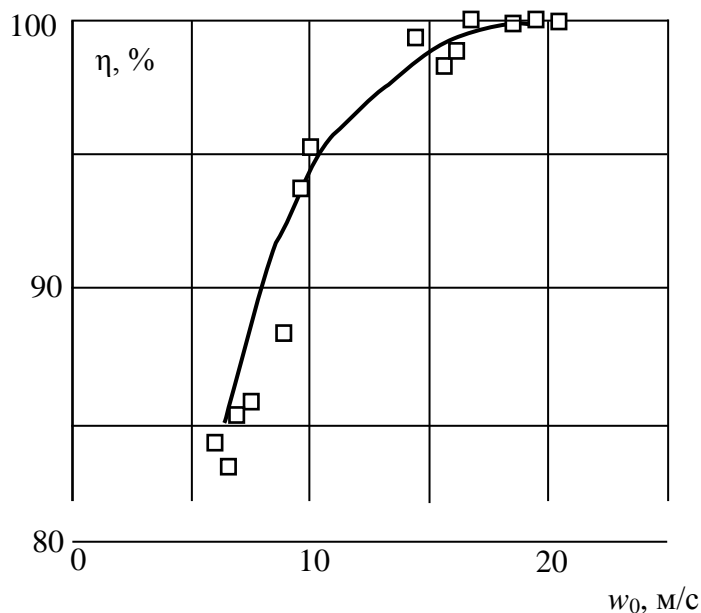


Рис. 3. Зависимость эффективности пылеулавливания вихревого аппарата от скорости потока газа в поперечном сечении аппарата при $L/G=1,0$.

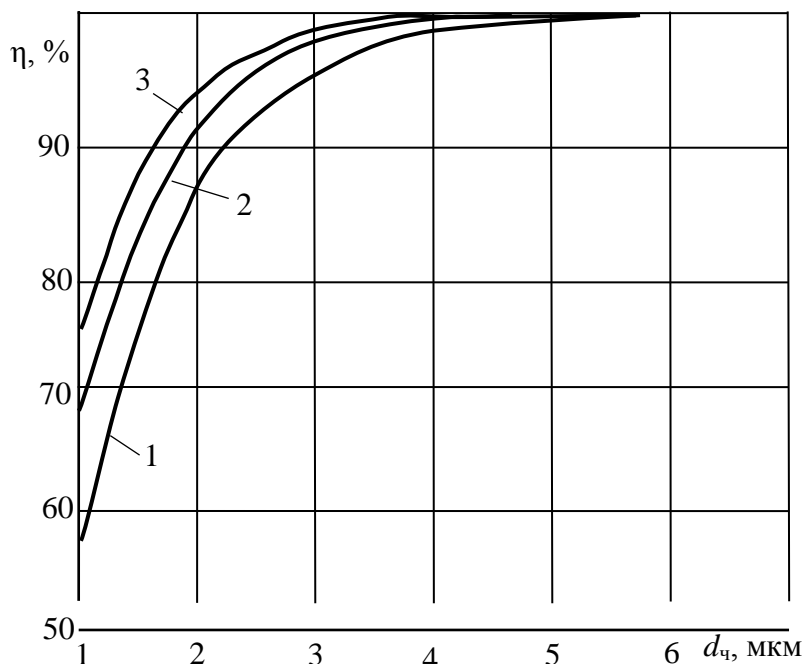


Рис. 4. Зависимость эффективности пылеулавливания от размера частиц пыли при различных плотностях орошения: $w_0=16$ м/с; L/G : 1 - 0,36; 2 - 0,8; 3 - 1,2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных экспериментальных исследований эффективности полых вихревых пылеуловителей, можно сделать вывод:

- при увеличении концентрации пыли повышается и эффективность работы аппарата; при $C > 20\%$ влияние относительной концентрации очищаемой пылевоздушной смеси и соответственно, рост степени эффективности снижается;
- эффективность пылеулавливания существенно повышается при увеличении осевой скорости потока газа и при 17-20 м/с достигает до 99,8-99,9 %.
- с ростом размера частиц эффективность улавливания частиц повышается;
- с ростом расхода жидкости эффективность пылеулавливания увеличивается;
- достоинствами разработанного полого вихревого аппарата являются высокая производительность по газу и эффективность пылеулавливания, низкое гидравлическое сопротивление, отсутствие уноса и засорения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев А.Н., Овчинников А.А., Николаев Н.А. Высокоэффективные вихревые аппараты для комплексной очистки больших объемов промышленных газовых выбросов. Химическая промышленность. 1992. №9. С. 36-38.
2. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. -Л.: Химия. 1982. 256 с.
3. Шукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. -М.: Машиностроение. 1982. 200 с.
4. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных сил. Том 7: «Вихревые технологии аэротермодинамики в энергетическом машиностроении» // Киев: Изд. ИТТФ НАНУ. -2008. -292 с
5. Шукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1980. - 240 с.
6. Яркин А.Н., Ложкин В.В., Чернухина Ю.В. Теплообмен и потери давления на трение в каналах с закрученным потоком // Теплоэнергетика. 1991. № 7. С. 47-51.
7. Гостицев Ю.А. Тепломассообмен и гидравлическое сопротивление при течении по трубе вращающейся жидкости // Изв. Ан СССР. Механика жидкости и газа. 1988. №5. С. 115-117.
8. Леонтьев А.И., Кузма-Кичта Ю.А., Попов И.А. Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках // Теплоэнергетика. 2017.-№ 2. -С. 36.