

Применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности для повышения эффективности систем газоочистки

Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Цыганок С.Н., Шалунова К.В.

Бийский технологический институт (филиал) Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"

Большое число современных химико-технологических процессов связано с дроблением, измельчением и транспортированием сыпучих материалов. При этом, часть материалов, в том числе и готового продукта, переходит в аэрозольное состояние, образуя пыль, которая с технологическими или вентиляционными газами выбрасывается в атмосферу. В атмосферу Земли ежегодно поступает около 150 млн. тонн различных аэрозолей с частицами микронного размера искусственного происхождения. Пылевые частицы искусственного происхождения имеют большую суммарную поверхность, вследствие чего их химическая и биологическая активность очень высока. Некоторые вещества в аэродисперсном состоянии приобретают новые свойства, например способность взрываться.

Из выше сказанного можно сделать вывод о необходимости разработки современных устройств, позволяющих осаждать дисперсные примеси из отходящих газов с целью безопасного выброса газов в атмосферу и, в ряде случаев, для улавливания готового продукта. Таким образом, очистка отходящих газов от дисперсных примесей является неперенным процессом во всех производствах.

В промышленности задачу улавливания промышленных аэрозолей решают с помощью различных систем пылеулавливания. Традиционно используют разнообразные конструкции циклонов, фильтров, пылеуловителей, осадительных камер. Однако, всем выше перечисленным устройствам присущи существенные недостатки: сложность, а иногда и невозможность улавливания мелкодисперсных аэрозолей; невозможность использования в агрессивных и взрывоопасных газах; необходимость очистки или замены фильтрующего элемента. Учитывая вышеперечисленные недостатки, область применения подобных средств для очистки газовых сред ограничена.

Возможным способом повышения эффективности пылеулавливания является укрупнение частиц, то есть их предварительная коагуляция. Среди существующих способов (электрического, гравитационного, теплового) коагуляции наиболее эффективным и перспективным является ультразвуковой способ. Ультразвуковая коагуляция представляет собой процесс сближения и укрупнения, взвешенных в газе или жидкости мелких твердых частиц, жидких капелек и газовых пузырьков под действием акустических колебаний звуковых или ультразвуковых частот. Ультразвуковая коагуляция обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению с другими видами коагуляции [1]:

- возможностью осаждать мелкодисперсные аэрозоли, улавливание которых часто сопряжено со значительными трудностями, а иногда и вообще невозможно;
- применимостью к агрессивным газам;
- возможностью работы при высоких давлениях и температурах;
- малой энергоемкостью процесса;
- высокой эффективностью процесса;
- небольшим временем воздействия.

Несмотря на выше описанные преимущества, ультразвуковая коагуляция не нашла широкого применения в промышленности. Это связано с тем, что в качестве источников УЗ колебаний до последнего времени использовались малоэффективные газоструйные излучатели, обладающие следующими недостатками:

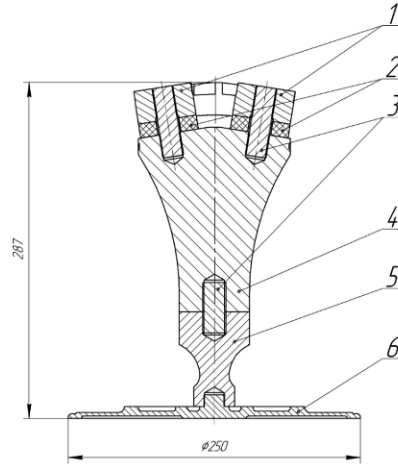
- низким КПД, не превышающим 20%;
- быстрым износом механических узлов;
- невозможностью работы на высоких частотах (более 20 кГц) и необходимостью защиты обслуживающего персонала от акустического излучения;
- необходимостью использования и большим расходом сжатого воздуха;
- длительным временем выхода на режим излучения, связанным с необходимостью создания потока газа, а в случае использования газогенератора – непродолжительным временем работы.

Кроме того, существенным недостатком газоструйных излучателей является срыв генерации УЗ колебаний, связанный с тем, что в резонаторе противодавление достигает столь большой величины течения, при котором сверхзвуковой режим истечения оказывается невозможным и торможение струи происходит без образования скачка уплотнения [1]. Частая, бессистемная повторяемость подобных «срывов» обуславливает невозможность генерирования стабильных (по фазе и частоте) гармонических ультразвуковых колебаний. Это, в свою очередь, не позволяет осуществлять ультразвуковое воздействие в максимально эффективных режимах – режиме стоячей волны и с резонансным усилением колебаний.

При своей работе газоструйные излучатели инжектируют в рабочую зону камеры поток воздуха. Это может приводить к повторному увлечению осажденных частиц воздушным потоком, и разрушению агрегатов коагулированных частиц. Отсечение воздушных потоков с помощью звукопрозрачных пленок не приводит к желаемым результатам т.к. вызывает значительное снижение интенсивности УЗ колебаний, которая является основной величиной, влияющей на эффективность процесса коагуляции.

Альтернативой традиционным газоструйным излучателям могут служить созданные в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института совместно с ООО «Центр ультразвуковых технологий» пьезоэлектрические ультразвуковые колебательные системы (УЗКС), в

которых обеспечивается преобразование энергии продольных колебаний в изгибные колебания титановых пластин или дисков [2]. Схематично конструкция УЗКС представлена на рис. №1.



1 – задние отражающие накладки, 2 – пьезоэлектрические элементы,
3 – стягивающие шпильки, 4 – преобразователь,
5 – концентратор, 6 – дисковый излучатель

Рис. №1 – Схематичный вид УЗКС с двухполуволновым преобразователем

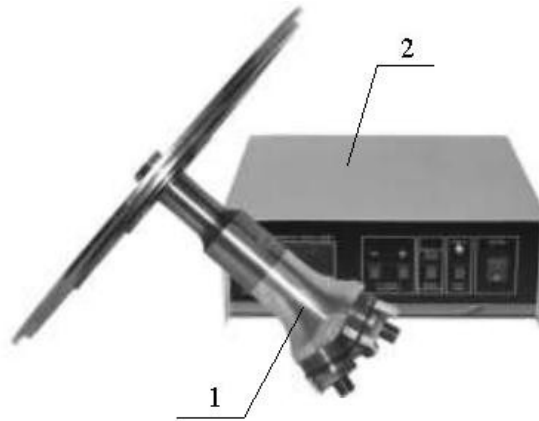
Разработанная ультразвуковая колебательная система состоит из двухполуволнового преобразователя (поз. 1-4), концентратора (поз. 5), дискового излучателя (поз. 6).

Поверхность диска (поз. 6) является источником ультразвуковых колебаний. Изгибные колебания диска возбуждаются продольными колебаниями, создаваемые пьезоэлектрическими элементами (поз. 2). Акустическая связь внутри УЗКС обеспечивается за счет того, что пьезоэлектрические элементы зажаты между преобразователем (поз. 4) и задней частотнопонижающей накладкой (поз. 1) с силой, многократно превышающей величину знакопеременной силы, создаваемой пьезоэлектрическими элементами. Стягивающее усилие обеспечивается задними частотнопонижающими накладками и шпильками (поз. 3).

Выбор излучателя дискового типа объясняется преимуществами подобных конструкций: высоким КПД; малыми энергетическими затратами; возможностью формирования ультразвуковых колебаний большой мощности; обеспечением перестройки частоты излучения за счет перехода с одной гармонической составляющей на другую.

При использовании плоского диска различные точки поверхности излучают колебания в противоположенных фазах, что приводит к тому, что на некотором расстоянии от диска происходит практически полная взаимная компенсация излучения. Для того чтобы исключить влияние этого фактора, необходимо искусственно снизить амплитуду колебаний участков диска, излучающих колебания в одной из фаз, например в «отрицательной» фазе. Этого можно добиться, увеличив толщину диска в указанных участках. В результате были созданы излучатели в дисков ступенчато-переменного сечения. Интенсивность колебаний, создаваемых таким дисковым излучателем диаметром 340 мм на расстоянии 3 – 4 м, составляет 147-152 дБ [3].

На основе разработанной конструкции ультразвуковой колебательной системы были созданы ультразвуковые аппараты для коагуляции различных аэрозолей. В состав аппаратов входит ультразвуковая пьезоэлектрическая колебательная система в металлическом корпусе с принудительным воздушным охлаждением с дисковым излучателем и генератор электрических колебаний ультразвуковой частоты с регулируемой выходной мощностью. Аппарат, показанный на рис. №2, предназначен для воздействия на газовые среды высокоинтенсивными акустическими колебаниями (более 150 дБ) [4]. В таблице 1 приведены его технические характеристики. Аппарат может использоваться для осаждения аэрозолей техногенного происхождения в замкнутых пространствах (например, в системах вентиляции зданий).



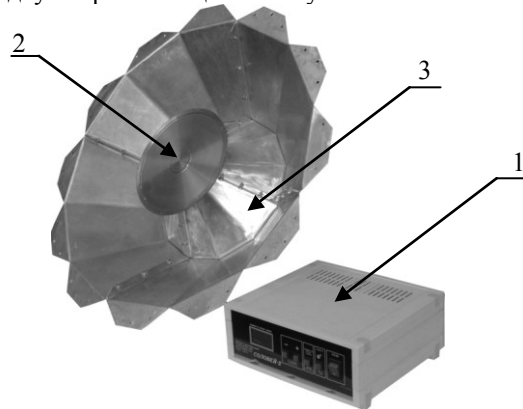
1 – ультразвуковой генератор; 2 – ультразвуковая колебательная система
Рис. №2 – Ультразвуковой оборудование для осаждения аэрозолей

Таблица 1

Основные технические характеристики ультразвукового оборудования для осаждения аэрозолей

Частота излучения кГц	27
Диаметр излучателя, м	0,25
Интенсивность колебаний, дБ не менее	140
Потребляемая мощность, Вт, не более	350
Масса колебательной системы с излучателем, кг, не более	6
Масса электронного блока, кг, не более	3

На рис. №3 представлена фотография ультразвукового аппарата, предназначенного для осаждения аэрозолей на открытых пространствах. В частности, разработанный аппарат может использоваться для разрушения туманов на взлетных полосах аэродромов и автомагистралях. Для использования энергии тыльной стороны дискового излучателя и увеличения суммарной площади излучения, аппарат снабжен отражателем, выполненным виде двух пересекающихся конусов.



1 – ультразвуковой генератор; 2 – ультразвуковая колебательная система; 3 – отражатель
Рис.№3 – Ультразвуковой аппарат для коагуляции аэрозолей

В таблице 2 приведенные основные технические характеристики разработанного аппарата.

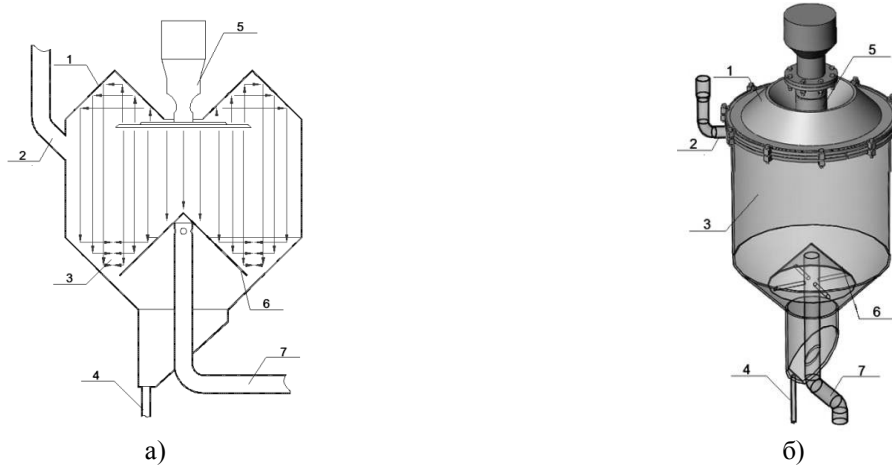
Таблица 2

Основные технические характеристики ультразвукового аппарата «Соловей»

Частота излучения кГц	24
Диаметр излучателя, м	0,36
Интенсивность колебаний, дБ не менее	150
Потребляемая мощность, Вт, не более	600
Масса колебательной системы с излучателем, кг, не более	8
Масса электронного блока, кг, не более	3

Создание таких аппаратов позволило разработать высокоэффективные камеры с резонансным усилением. Так в ООО «Центр ультразвуковых технологий» для повышения эффективности существующих систем пылеулавливания (например, традиционных циклонов) были разработаны устройства уже

содержащие в своем составе источник ультразвуковых колебаний одного из описанных выше типов (рис. №4).



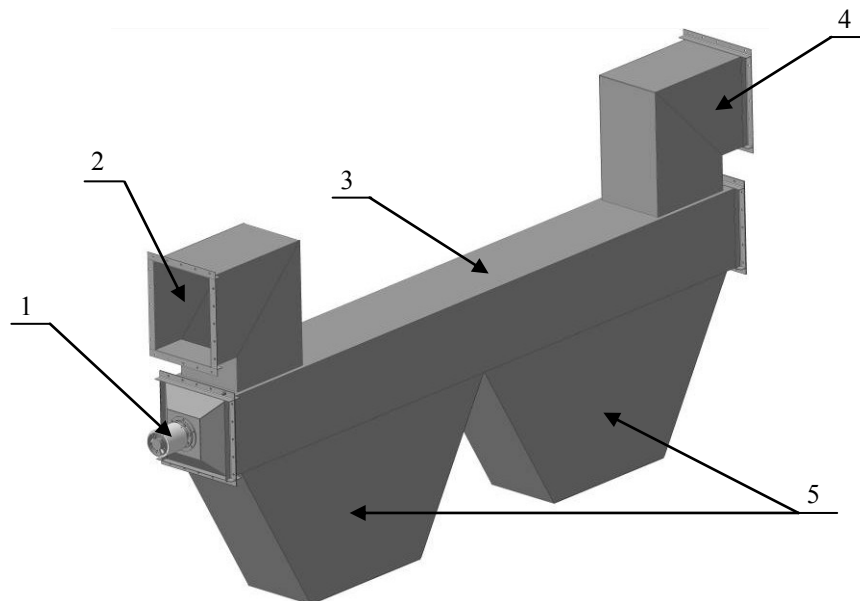
а – структурная схема циклона с УЗ излучателем; б – 3D-модель циклона с УЗ излучателем;
1 – верхний отражатель; 2 – входной патрубок; 3 – корпус циклона; 4 – отвод к бункеру; 5 – ультразвуковая колебательная система; 6 – нижний отражатель; 7 – выходной патрубок.

Рис. №4 – Конструкция циклона с ультразвуковым излучателем

Усовершенствование циклона за счет введения в конструкцию источника УЗ колебаний и обеспечения резонансного режима, позволило повысить эффективности процесса улавливания аэрозолей за счет дополнительного эффекта УЗ коагуляции. На основе экспериментальных исследований было установлено, что введение в конструкцию циклона источника УЗ колебаний обеспечивает повышение эффективности традиционного циклона до 99,5% и возможность улавливания частиц микронного размера (0,01...1 мкм).

Существенным преимуществом разработанных устройств ультразвуковой коагуляции в газоочистных системах является возможность работы в агрессивных средах (газах), при высоких давлениях и температурах [5]. В этом случае, единственное требование, предъявляемое к системе газоочистки, относится к материалу из которого изготавливается технологический (рабочий) объем. Материал должен обладать химической стойкостью к воздействию агрессивных газов и высоким коэффициентом отражения УЗ волн.

В настоящее время ультразвуковое оборудование, разработанное в Бийском технологическом институте совместно с ООО «Центр ультразвуковых технологий», успешно применяется на практике пылеулавливания. Два ультразвуковых аппарата для коагуляции аэрозолей установлены в дымоходе (сечением 530x400 мм) Бийской ТЭЦ (рис. №5)



1 – ультразвуковая колебательная система; 2 – вход дымохода; 3 – дымоход (камера коагуляции);
4 – выход дымохода; 5 – бункер

Рис. №5 – Модель дымохода с установленными ультразвуковыми аппаратами для коагуляции аэрозолей на Бийской ТЭЦ

Установка ультразвукового оборудования в дымоходе ТЭЦ позволила обеспечить степень очистки отходящего газа до 99,9%.

Таким образом, установлено, что применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности (ультразвуковая коагуляция) является перспективным способом повышения эффективности систем газоочистки. Введение источника ультразвуковых колебаний в традиционную конструкцию циклона позволяет повысить степень очистки запыленного газа до 99,9%.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук и их научных руководителей № МК-383.2008.8. и при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям в рамках федеральной целевой программы «Исследование и разработка по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2012 годы».

1. Физические основы ультразвуковой технологии [Текст] / под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1969. – 689 с.
2. Application of high intensity air-borne ultrasound for debubbling liquid coating layers [Text] / I. Gonzalez a, J. Rodriguez a, I. Garmendia b, J.A. Gallego-Juarez // Ultrasonics, Elsevier USA, 2006, 44. – P. 529–532.
3. V. N. Khmelev. [Research of Ultrasonic Drying Process in Dryers of Ventilation Type \[Text\]](#) / V. N. Khmelev, I. I. Savin, D. S. Abramenko, S. N. Tsyganok, R. V. Barsukov, D. V. Genne, A. N. Lebedev // International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2007: Workshop Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2007.
4. Хмелев В.Н. [Акустической коагуляции аэрозолей \[Текст\]](#) / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, Д.С. Абраменко // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2008.– 66 с.
5. Хмелев В.Н.. [Ультразвуковая коагуляционная камера для работы в агрессивных средах \[Текст\]](#) / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К. В. Шалунова // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр./науч.ред.: А.И. Громько, А.В. Сарафонов; отв. за вып.: А.А. Левицкий. – Красноярск : ИПК СФУ, 2009.– 465 с.