

Разработка и Исследование Ультразвуковой Коагуляционной Камеры

Владимир Н. Хмелёв, д.т.н., *Senior Member* IEEE, Андрей В. Шалунов, к.т.н.,
Ксения В. Шалунова, *Student Member*, IEEE.

Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО АлтГТУ им И.И. Ползунова

Аннотация – В статье описывается конструкция ультразвуковой коагуляционной камеры, построенной на основе дискового пьезоэлектрического излучателя и приводятся результаты экспериментальных исследований подтвердивших ее эффективность. Разработанная конструкция камеры обеспечивает не только коагуляцию аэрозолей, но и их последующее осаждение.

Ключевые слова – аэрозоль, ультразвук, коагуляционная камера.

I. ВВЕДЕНИЕ

В СВЯЗИ С УХУДШАЮЩЕЙСЯ экологической обстановкой проблема очистки промышленных газовых выбросов от газообразных и дисперсных примесей стала проблемой общенационального характера. Это связано с непрерывным ростом промышленности, увеличением масштабов производства, сопровождающимся постоянным нарастанием загрязнения атмосферного воздуха.

В настоящее время в атмосферу Земли ежегодно поступает 150 млн. тонн различных аэрозолей с частицами микронного размера искусственного происхождения. Значительную долю выбросов мелкодисперсных твердых частиц составляют такие отрасли промышленности, как цементная, горная, химическая, тепловая энергетика. Еще одним источником пыли и ядовитых газов служат массовые взрывные работы. В результате одного среднего по массе взрыва (250...300 тонн взрывчатых веществ) в атмосферу выбрасывается около 2 тыс.куб.м. условного оксида углерода и более 150 т. пыли, с размером частиц не более 80мкм. Образовавшиеся при этом аэрозоли твердых частиц особенно опасны для здоровья людей из-за своей способности глубоко проникать в дыхательную систему человека.

Из выше сказанного можно сделать вывод о необходимости создания высокоэффективных средств для очистки отходящих промышленных газов.

В настоящее время, как правило, для улавливания аэрозолей из отходящих газов

используются различные типы фильтров и циклонов. Однако из-за их низкой эффективности при улавливании мелкодисперсной пыли, необходимости замены или чистки фильтрующего элемента, область их применения ограничена.

Решением проблемы очистки запыленного воздуха может быть коагуляция частиц веществ или пыли с целью укрупнения и ускорения их оседания.

Одним из способов, позволяющих решить поставленную задачу, является ультразвуковая коагуляция. Ультразвуковая (УЗ) коагуляция обладает рядом неоспоримых преимуществ: возможность осажать высокодисперсные аэрозоли; применимость к агрессивным и взрывоопасным газам; возможность работы при высоких температурах и давлениях; высокая эффективность и низкая энергоемкость процесса и др. [1].

Однако, следует отметить, что несмотря на все выше описанные преимущества, УЗ коагуляции не вышла из стадии лабораторных исследований. Это связано с тем, что используемые в промышленности УЗ коагуляционные камеры спроектированы без учета резонансных особенностей УЗ колебаний и на основе газоструйных излучателей, которые обеспечивают преобразование кинетической энергии газового потока в энергию акустических колебаний. Недостатками подобных излучателей является необходимость использования и большой расход сжатого воздуха, низкий КПД, быстрый износ механических узлов, инжекция воздуха.

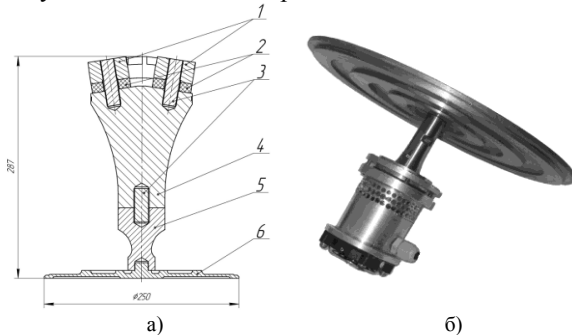
Учитывая все выше сказанное, возникает технологическая задача, заключающаяся в создании современных резонансных УЗ коагуляционных камер, использующих в качестве источников ультразвуковых колебаний эффективные излучателями высокоинтенсивных УЗ в газовые среды.

II. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Для решения этой задачи в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института был разработан

специализированный дисковый пьезоэлектрический излучатель (ультразвуковая колебательная система) [2,3,4] и коагуляционная камера резонансного типа.

Устройство и внешний вид разработанного излучателя показаны на рис. 1.



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

а – чертеж; б – внешний вид

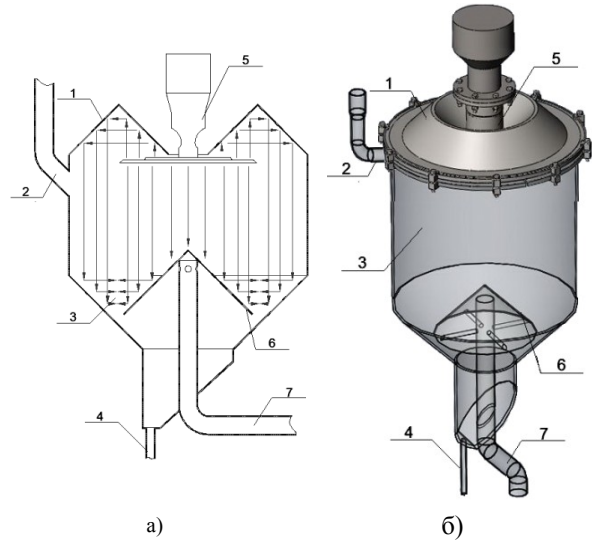
Рис. 1. Разработанная УЗКС с двухполуволновым преобразователем и дисковым излучателем

Особенность разработанной УЗКС является то, что излучающим элементом является лицевая и тыльная поверхность диска (6). Таким образом, диск излучает колебания в обе стороны, что позволяет формировать ультразвуковые колебания большой мощности, необходимые для эффективной коагуляции. Преимуществами дисковых ультразвуковых колебательных систем является высокий КПД, малые энергетические затраты, отсутствие инжекции воздуха, высокая интенсивность излучаемых УЗ колебаний (более 150 дБ).

На рис. 2 приведена структурная схема и 3D-модель коагуляционной камеры, разработанной для использования совместно с созданной ультразвуковой колебательной системой (стрелки показывают направление распространения ультразвуковых колебаний).

Установка состоит из герметичного корпуса, основными элементами которого являются верхний (1) и нижний (6) отражатели, формирующие в цилиндрической коагуляционной камере (3), равномерное акустическое поле.

Оба отражателя располагаются в ближней зоне дискового излучателя. В этой зоне излучение можно считать направленным преимущественно перпендикулярно поверхности дискового излучателя. Ультразвуковые колебания за счет двукратного отражения от стенок отражателя (стенки представляют собой усеченный конус с наклоном образующей 45°) равномерно распределяются по объему коагуляционной камеры (3). В центре верхнего отражателя камеры размещен излучатель УЗ колебаний дискового типа 5.



1 – верхний отражатель; 2 – входной патрубок; 3 – коагуляционная камера; 4 – отвод к бункеру; 5 – ультразвуковая колебательная система; 6 – нижний отражатель; 7 – выходной патрубок.

а – структурная схема коагуляционной камеры; б – 3D-модель коагуляционной камеры;

Рис. 2. Ультразвуковая коагуляционная камера

Для создания высокоэффективной коагуляционной камеры размеры должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечивался режим стоячей волны (наиболее эффективное использование энергии звуковой волны) и обеспечивалось необходимое время пребывания частиц в камере (зависит от конкретного технологического процесса, скорости аэрозоля на входе, его дисперсного состава и др.). Кроме того, при установлении в камере режима стоячих волн, следует ожидать, что звуковое давление принудит частицы сконцентрироваться вблизи пучностей, создавая тем самым в этих зонах высокие концентрации частиц. Это способствует значительному увеличению эффективности коагуляции, вследствие увеличения вероятности столкновения частиц.

Коагулируемый аэрозоль подводит с помощью специального установленного входного патрубка 2 (обеспечивающего завихрение входного потока и содержащегося в нем аэрозоля), а для вывода очищенного газа – центрально установленный выходной патрубок 7. Частицы аэрозоля, многократно увеличившиеся в массе за счет их коагуляции, под действием увеличившейся центробежной силы завихренного газового потока, смещаются к внешней стенке коагуляционной камеры и отводятся к бункеру через патрубок 4.

Для возможности работы в высокотемпературных, агрессивных средах к материалу, из которого изготавливается коагуляционная камера, предъявляются следующие требования: химическая стойкость к

воздействию агрессивных газов и высокий коэффициент отражения УЗ волн. Перечисленным требованиям удовлетворяют следующие материалы: нержавеющая сталь, кварц, стекло, стеклопластик.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для определения эффективности созданной резонансной УЗ коагуляционной камеры были проведены экспериментальные исследования по коагуляции различных аэрозолей.

Состав частиц дисперсной фазы, используемых при проведении экспериментальных исследований, и их размер приведены в Табл. I.

ТАБЛИЦА I
АЭРОЗОЛИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

№	Название	Размер частиц, мкм
1	Чайная пыль	5...20
2	Алебастровая пыль	10...30
3	Цементная пыль	10...25
4	Тонер для принтера	3...15
5	Известковая пыль	5...10
6	Мучная пыль	1...5
7	Сахарная пыль	10...40

Выбор именно этих аэрозолей при проведении экспериментальных исследований обусловлен имеющимися в наличии литературными источниками, содержащими сведения о характере и размере частиц этих аэрозолей и существующей практической необходимостью коагуляции таких аэрозолей, а также относительной безвредностью для человека.

При проведении эксперимента аэрозоль перемещался вдоль входного патрубка с потоком воздуха, получаемым от вентилятора. Это было сделано для того, чтобы приблизить лабораторные испытания к реальным технологическим условиям. Скорость потока регулировалась путем изменения скорости вращения вентилятора и контролировалась при помощи анемометра Testo 417. Максимальное значение уровня звукового давления, при котором производились эксперименты, равнялось 150 дБ. Это ограничение является конструктивным пределом дискового излучателя, превышение которого ведет к поломке излучателя. Полученные результаты представлены в Табл. II.

ТАБЛИЦА II
ЗНАЧЕНИЯ УРОВНЯ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ СООТВЕТСТВУЮЩЕГО КОАГУЛЯЦИИ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ПОТОКА ВОЗДУХА

Название аэрозоля	Размер частиц, мкм	Скорость потока воздуха переносящего аэрозоль, м/с					
		0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
Сахарная пыль	10...40	130	135	140	140	145	150
Алебастровая пыль	10...30	135	135	140	140	145	150
Цементная пыль	10...25	130	135	135	140	145	150
Чайная пыль	5...20	135	140	145	145	150	150
Тонер для принтера	3...15	125	135	140	140	145	150
Известковая пыль	5...10	130	135	140	145	150	150
Мучная пыль	1...5	140	145	145	150	150	150

Из анализа полученных данных следует, что уровень звукового давления в 125...150 дБ, является достаточным для коагуляции аэрозолей в потоке воздуха со скоростью менее 1,3 м/с. Однако, для обеспечения процесса коагуляции в потоке воздуха со скоростью выше 1,3 м/с необходимо применение излучателей УЗ колебаний, обеспечивающих уровень звукового давления более 150 дБ.

Скоагулированные частицы аэрозолей оседали под действием силы тяжести на дно сосуда и удались через специальный отвод из коагуляционной камеры в бункер. Очищенный газ выходит через выходной патрубок. Это позволяет говорить о том, что разработанная конструкция позволяет осуществлять не только эффективную коагуляцию аэрозолей, но и их последующее осаждение. Этот факт позволяет отказаться от использования дополнительных фильтров и циклонов, на выходе коагуляционной камеры.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных работ была разработана конструкция современной высокоэффективной УЗ коагуляционной камеры. Было установлено, что:

– уровень звукового давления в 125...150 дБ, является достаточным для коагуляции аэрозолей в потоке воздуха со скоростью менее 1,3 м/с;

– кроме укрупнения частиц аэрозоля в созданной коагуляционной камере наблюдалось осаждение образовавшихся агрегатов, что позволило отказаться от использования дополнительных средств улавливания укрупненных частиц на выходе камеры.

Приведенные экспериментальные исследования показали эффективность разработанной дискового излучателя и резонансной камеры для ультразвуковой коагуляции и перспективность их применения в качестве оборудования для промышленной коагуляции аэрозолей.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук и их научных руководителей № МК-383.2008.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Физические основы ультразвуковой технологии [Текст] / под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1969. – 689 с.
- [2] Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов [и др.]. – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – 416 с.
- [3] Ультразвуковая колебательная система [Текст]: пат. №2141386 Российская Федерация: МПК6 В06В3/00 / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – №91720873/28; заявл. 15.12.97; опубл. 20.11.99, Бюл. № 20. – 5 с.: ил.
- [4] Ультразвуковой преобразователь для газовых сред [Текст]: пат. №2059239 Российская Федерация: МПК6 G01N29/24 / Хмелев В.Н., Кицанов А.С., Митин А.Г., Ларионенко Г.Г.; заявитель и патентообладатель НПО «Алтай». – №93028405/28; заявл. 14.05.93; опубл. 27.04.96, Бюл. № 21. – 5 с.: ил.



Владимир Н. Хмелев (М*00, SM*04)— заместитель директора Бийского технологического института по НИР, профессор, доктор технических наук. Заслуженный изобретатель России. Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых. Область научных интересов – ультразвуковая техника и технологии, применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности для интенсификации технологических процессов и изменения свойств веществ и материалов.



Андрей В. Шалунов родился в г. Бийске, Россия, 1980. Кандидат технических наук. Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых. Область научных интересов – разработка программного обеспечения для ультразвуковых технологических аппаратов.



Ксения В. Шалунова (S*09) родилась в Бийске, Россия, 1986. Окончила факультет «Информационных технологий, автоматизации и управления» Бийского технологического института в 2008. Она является аспирантом первого года обучения кафедры «Методов, средств измерения и автоматизации». Областью ее научных интересов является изучение процессов и разработка оборудования для ультразвуковой коагуляции и осаждения аэрозолей различного происхождения.