

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КОАГУЛЯЦИОННАЯ КАМЕРА ДЛЯ РАБОТЫ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

К. В. Шалунова, А. В. Шалунов, В. Н. Хмелёв (научный руководители)

Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И. И. Ползунова
659305, Бийск, ул. Трофимова, 27
E-mail: shalunov@bti.secna.ru

В статье рассматривается конструкция ультразвуковой коагуляционной камеры нового типа, выполненной на основе дискового пьезоэлектрического излучателя ультразвуковых колебаний и предназначенной для работы с агрессивными средами (газами), при высоких давлениях и температурах. Результаты исследований подтвердили высокую эффективность разработанной ультразвуковой коагуляционной камеры, обеспечивающей осаждение до 99,5% частиц аэрозоля.

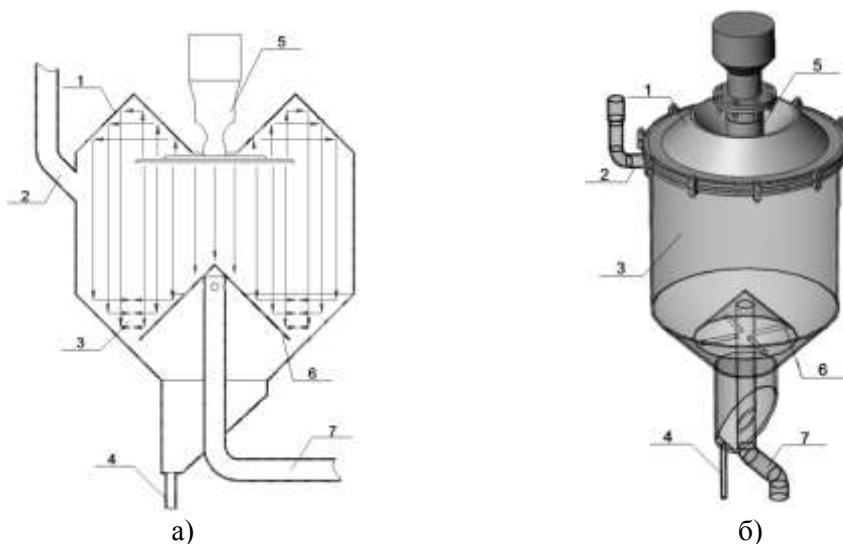
В связи с широким распространением потенциально опасных производств, характеризующихся высоким содержанием аэрозолей ядовитых веществ в отходящих газах, а также возникающей в ряде случаев необходимостью улавливания ценных материалов из газовой среды, возникает необходимость в разработке эффективных средств очистки аэрозолей. Задача значительно усложняется при необходимости улавливания аэрозолей, в средах, содержащих химически активные и агрессивные компоненты. В этом случае традиционные средства улавливания аэрозолей оказываются не применимыми.

Возможным решением указанной технологической проблемы является укрупнение и последующее осаждение аэрозольных частиц под действием высокоинтенсивных (более 140 дБ) ультразвуковых колебаний (ультразвуковая коагуляция аэрозолей). Ультразвуковая (УЗ) коагуляция, обладает рядом неоспоримых преимуществ: применимость к агрессивным и взрывоопасным газам, возможность работы при высоких температурах и давлениях, высокая эффективность и низкая энергоёмкость процесса, возможность осаждения высокодисперсных аэрозолей и др. [1].

подавляющее большинство ультразвуковых коагуляционных камер, используемых в настоящее время, спроектированы на основе газоструйных акустических излучателей, характеризующихся низким КПД, необходимостью использования сжатого воздуха, низкой рабочей частотой и не учитывают резонансных особенностей камер. Их существенным недостатком является инжектирование в область коагуляции потока воздуха. Это приводит к повторному увлечению осажденных частиц воздушным потоком и разрушению агрегатов коагулированных частиц. Известные технологии отсекаания воздушных потоков с помощью звукопрозрачных пленок приводят к значительному ослаблению УЗ колебаний, и являются неприемлемыми при высоких температурах и давлениях. Эти недостатки снижают привлекательность ультразвуковой коагуляции для промышленного применения и обуславливают необходимость создания новых коагуляционных камер, построенных на основе более эффективных излучателей высокоинтенсивных УЗ колебаний.

Для решения этой задачи в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института был разработан специализированный дисковый пьезоэлектрический излучатель (ультразвуковая колебательная система) [2] и коагуляционная камера резонансного типа. Преимуществами дисковых ультразвуковых колебательных систем являются: высокий КПД, малое энергопотребление, отсутствие инъекции воздуха, высокая интенсивность излучаемых УЗ колебаний (более 150 дБ).

Структурная схема и 3D-модель разработанной коагуляционной камеры представлены на рисунке 1 (стрелки показывают направление распространения ультразвуковых колебаний).



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;
Рисунок 1 – Ультразвуковая коагуляционная камера

Коагуляционная камера состоит из герметичного корпуса, основными элементами которого являются верхний 1 и нижний 6 отражатели, формирующие в пространстве, заключенной между ними цилиндрической коагуляционной камеры 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 волны за счет двукратного отражения и от стенок отражателя (стенки представляют собой усеченный конус с наклоном образующей 45°) равномерно распределяются по объему коагуляционной камеры 3. В центре верхнего отражателя коагуляционной размещен излучатель УЗ колебаний дискового типа 5.

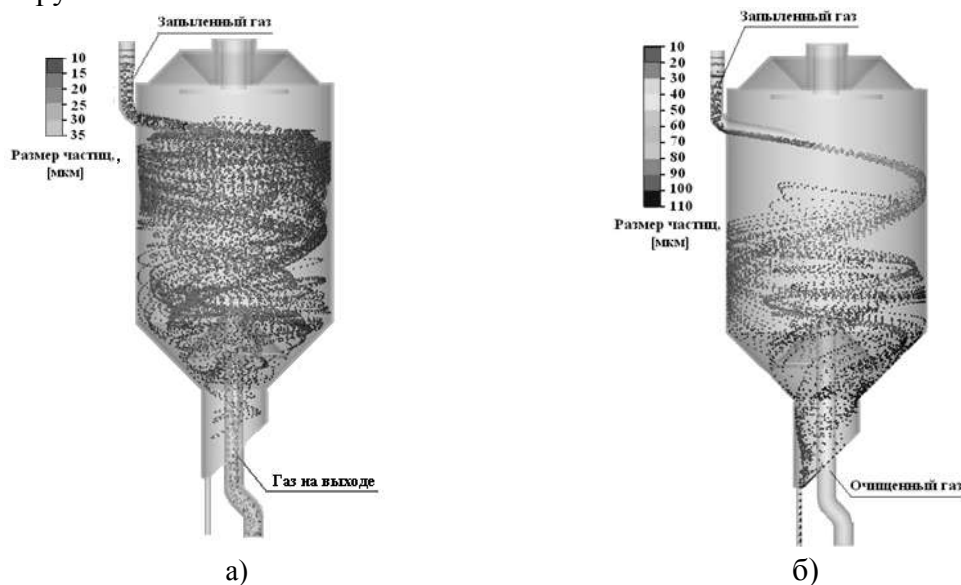
Размеры коагуляционной камеры выбраны таким образом, чтобы реализовывался режим стоячей волны и обеспечивалось достаточное для коагуляции время пребывания частиц в камере (зависит от скорости аэрозоля на входе, его дисперсного состава и др.). Кроме того, применительно к коагуляции, при установлении в камере режима стоячих волн, следует ожидать, что звуковое давление принудит частицы сконцентрироваться вблизи пучностей и создавая тем самым высокие концентрации частиц. Это способствует значительному повышению эффективности коагуляции, вследствие увеличения вероятности столкновения частиц.

Подвод коагулируемого аэрозоля осуществляется через тангенциально установленный входной патрубок 2 (обеспечивающий завихрение входного потока и содержащегося в нем аэрозоля), а для вывода очищенного газа – выходной патрубок 7 установленный в центре нижнего отражателя 6. 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 обеспечения возможности работы в высокотемпературных, агрессивных средах, к материалу, из которого изготавливается камера, предъявляются следующие требования: химическая стойкость к воздействию агрессивных газов и высокий коэффициент отражения УЗ колебаний. Перечисленным требованиям удовлетворяют следующие материалы: нержавеющая сталь, кварц, стекло, стеклопластик.

На рисунке 2 представлено, полученное по результатам математического моделирования, распределение частиц по размерам в разработанной ультразвуковой коагуляционной камере, как при наличии ультразвукового воздействия (рисунок 2.б), так и

без него (рисунок 2.а). Подаваемый, первичный аэрозоль содержит твердые частицы размерами 10...35 мкм. Из рисунка 2.а следует, что при отсутствии ультразвуковых колебаний подаваемый аэрозоль заполняет коагуляционную камеру практически равномерно. Однако осаднения (за исключением незначительного количества наиболее тяжелой фракции) аэрозоля при этом не происходит, и он полностью «выносятся» через выходной патрубок.



а – без ультразвукового воздействия; б – при ультразвуковом воздействии

Рисунок 2 – Результаты моделирования распределения частиц по размерам в ультразвуковой коагуляционной камере

Картина существенным образом изменяется при УЗ воздействии (рисунок 2.б). В этом случае, по мере распространения аэрозоля от входного патрубка происходит его коагуляция. Размеры частиц могут увеличиваться в 10 раз относительно первоначального размера. Такие частицы оседают под действием силы тяжести на дно сосуда и удаются через специальный патрубок 4 из коагуляционной камеры в бункер. Очищенный газ выходит через выходной патрубок 6.

В результате проведенных исследований была подтверждена возможность эксплуатации УЗ коагуляционной камеры в агрессивных средах (газах) при высоких давлениях и температурах и показана высокая эффективность предложенной конструкции, обеспечивающей высокую степень коагуляции (до 99,5%) и малое время экспозиции (не более 10 с).

Предложенная и разработанная коагуляционная камера на основе дискового пьезоэлектрического излучателя ультразвуковых колебаний позволяет осуществлять не только эффективную коагуляцию аэрозолей, но и их последующее осаждение. Этот факт позволяет отказаться от использования дополнительных фильтров, на выходе коагулятора.

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. Широкова, Н.Л. Ультразвуковая коагуляция. Физические основы ультразвуковой технологии / под ред. Л.Д.Розенберга – М., Наука, 1968. – 689
2. Ультразвуковые multifunctional и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности / В.Н. Хмёлев, А.В. Шалунов [и др.]. – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – 416 с.