

Исследование Процесса Распыления Жидкости С Дискowego Излучателя

Владимир Н. Хмелев, *Senior Member*, IEEE, Антон Н. Галахов, Андрей В. Шалунов,
Виктор А. Нестеров, Роман Н. Голых, Анна В. Шалунова
Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия
Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического
университета и. И.И. Ползунова, Бийск, Россия

Аннотация – Статья посвящена исследованию процесса распыления жидкости ультразвуковым излучателем в виде диска. Исследованы функциональные возможности ультразвуковых дисковых излучателей при распылении жидкостей. Получены результаты производительности и соответствующих энергозатрат на распыление при использовании различных систем подачи жидкости.

Ключевые слова – Ультразвук, колебательная система, распыление жидкостей, дисковый излучатель, ультразвуковой излучатель.

I. ВВЕДЕНИЕ

АЭРОЗОЛЬНЫЕ технологии находят широкое применение для решения производственных задач, где требуется распыление различных жидкостей. Широкий диапазон применения предполагает значительные различия в требованиях не только к размерам формируемых аэрозольных частиц, но и к производительности распыления.

Одними из наиболее эффективных считаются распылители, обеспечивающие формирование капель заданного размера за счет энергии колебаний ультразвуковой (УЗ) частоты высокой амплитуды (более 12 мкм для воды). Несомненные достоинства (низкая энергоёмкость, возможность формирования мелкодисперсных капель без применения дополнительных газовых носителей, возможность формирования частиц различных размеров, посредством выбора необходимой частоты и амплитуды воздействия и т.п.) должны были обеспечить повсеместное распространение и применение технологии ультразвукового распыления.

Однако этого не произошло до настоящего времени из-за низкой производительности созданных распылителей.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Принцип действия современных ультразвуковых диспергаторов основан на образовании в тонком слое распыляемой жидкости, находящейся на колеблющейся поверхности кавитационных пузырьков. Пузырьки при схлопывании образуют ударные волны, возбуждающие капиллярные волны на поверхности слоя, которые распадаются, образуя аэрозоль [1].

Для возбуждения ультразвуковых колебаний колеблющихся поверхностей распыления используются пьезоэлектрические преобразователи, предназначенные для кавитационной обработки жидких сред. Поскольку амплитуда колебаний пьезопреобразователей не превосходит 5...10 мкм (предел прочности пьезоматериала) используются усилители колебаний – концентраторы. Концентраторы выполняются в виде металлических стержней переменного сечения. При этом выходной размер концентратора и соответствующий ему размер излучающей поверхности значительно меньше входного и меньше диаметра пьезопреобразователя. При диаметре пьезоэлектрического преобразователя в 50 мм, диаметр излучающего инструмента грибовой формы не превосходит 45 мм, т.е. 30 см² с учетом двухстороннего излучения. При оптимальной толщине распыляемого слоя воды в 1 мм производительность распыления не может превышать 3 мл/с (10 л/час).

Поскольку такая производительность является недостаточной для реализации большинства технологических процессов, возникает необходимость в создании ультразвуковых распылителей, имеющих увеличенную распылительную поверхность.

Попытки увеличить размеры инструмента для увеличения поверхности распыления приводят к снижению амплитуды продольных колебаний инструмента, возникновению паразитных изгибных колебаний на низких частотах и невозможности реализации процесса распыления.

III. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ

Вместе с тем, известно [2], что при центральном возбуждении плоского тонкого диска, распределение колебательных смещений изгибных колебаний вдоль поверхности диска может иметь вид стоячих волн.

При реализации ряда технологических процессов с использованием УЗКС с дисковыми излучателями (коагуляция аэрозолей, бесконтактная сушка и пеногашение), было установлено, что при случайном попадании жидкости на излучающую поверхность происходит ее распыление. Поскольку экспериментальные данные о количественных (производительность) и качественных (размеры частиц) возможностях распыления

при различных условиях подачи жидкости на колеблющуюся поверхность отсутствуют, возникла необходимость в создании дисковых излучателей, предназначенных для распыления и проведении исследований процесса распыления.

При использовании в качестве излучателя плоского тонкого диска различные точки (кольцевые участки) поверхности диска излучают колебания в противоположных фазах.

Для того чтобы уменьшить площадь участков диска, излучающих колебания в «отрицательной» фазе, увеличена толщина диска в указанных участках (см. Рис.1). В связи с этим, излучатель был выполнен в виде ступенчато-переменного по толщине диска, внешний вид которого показан на Рис.1 [3]. Из представленного на этом же рисунке распределения колебаний видно, что амплитуда колебаний «отрицательных» зон уменьшена по сравнению с амплитудой колебаний «положительных» зон. При этом площадь излучающей поверхности с одной из сторон диска, там, где происходит распыление, увеличивается в несколько раз [4-5].

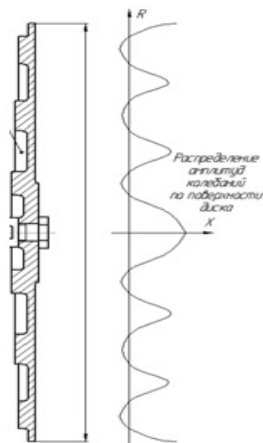
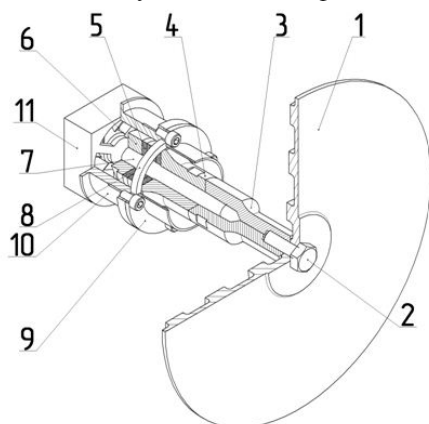


Рис. 1. Диск ступенчато-переменного сечения, с преимущественным излучением колебаний с одной поверхности.

На Рис.2 показана конструкция колебательной системы, включающей в себя пьезоэлектрический преобразователь, полуволновой концентратор и излучающий диск, с преимущественным излучением одной фазы колебаний.



1 – излучающий диск; 2 – болт; 3 – концентратор;
 4 – частотопонижающая излучающая накладка;
 5 – пьезоэлектрические элементы; 6 – отражающая частотопонижающая накладка; 7 – шпилька; 8 – кольцо акустической развязки; 9 – фланец корпуса; 10 – корпус; 11 – вентилятор
 Рис. 2. Конструкция УЗКС с дисковым излучателем

Акустическая связь внутри преобразователя обеспечивается за счет того, что пьезоэлектрические элементы зажаты между частотопонижающей излучающей накладкой 4 и отражающей частотопонижающей накладкой 6 шпилькой 7, с силой, многократно превышающей величину знакопеременной силы, создаваемой пьезоэлектрическими элементами. Акустическая связь концентратора 3 и диска 1 обеспечивается за счет болта 2, ввернутого в резьбовое отверстие в концентраторе. В корпусе УЗКС закрепляется через кольцо акустической развязки 8, зажатое в зазоре между фланцем 9 и корпусом 10. Охлаждение пьезоэлементов осуществляется воздушным потоком от вентилятора.

При такой конструкции УЗКС с дисковым ступенчато-переменным излучателем амплитуда колебаний на участках, представляющих собой кольца различной ширины достигает 25...50 мкм. Это обеспечивает распыление не только водных растворов, но и более вязких жидкостей.

Однако для эффективного использования большой поверхности дискового излучателя необходимо обеспечить подачу распыляемой жидкости на колеблющуюся поверхность.

IV. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДАЧИ РАСПЫЛЯЕМОЙ ЖИДКОСТИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ДИСКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Простейшим вариантом подачи распыляемой жидкости на колеблющуюся поверхность излучателя было использование распылителя для душа с тридцатью отверстиями, диаметром 1,5 мм (см. Рис.3).



Рис. 3. Схема распыления УЗ дисковым излучателем с системой подачи в виде душевой насадки.

Измерение производительности диспергирования производилось следующим образом. Под дисковым излучателем были установлены две ёмкости. Первая ёмкость предназначена для сбора распыленной воды, а вторая для сбора жидкости, которая не распылилась с дискового излучателя или стекла с элементов конструкции системы подачи жидкости. Производительность измерялась путем определения объема попавшей воды в первую емкость за 15 минут, при максимальном уровне амплитуды механических колебаний.

Производительность распыления жидкости составила 100 л/час. Однако, в ходе исследований были выявлены следующие недостатки:

1) Для получения необходимого напора необходимо повышать расход распыляемой жидкости, которая в свою очередь «заливает» диск: он перестает колебаться, т.к. происходит демпфирование всей УЗКС.

2) При подаче жидкости с максимально допустимым расходом для дискового излучателя необходимо приближать душевую насадку к поверхности диска на такое расстояние, при котором она перекрывает часть факела распыленной жидкости. При этом большая часть распыленной жидкости осажается на самой насадке.

3) Часть жидкости попадает в зоны минимумов колебаний, на которых не происходит распыления. Это приводит к неравномерному распределению распыляемой жидкости по зонам с максимальной амплитудой колебаний, вследствие чего неравномерно используется энергия колебаний и жидкость стекает с поверхности диска в емкость для сбора.

Поскольку, простейшая система подачи жидкости не удовлетворяет требованиям к производительности и равномерности факела распыла потребовалось создание специализированной системы подачи распыляемой жидкости.

Для подачи распыляемой жидкости на поверхность дискового излучателя была создана система, состоящая из двух медных трубок кольцеобразной формы, соединенных между собой, с отверстиями. Диаметры колец соответствуют диаметрам зон минимумов колебаний. Распыляемая жидкость подается на области диска с максимальной амплитудой колебаний через выполненные с одной стороны отверстия и распыляется. На Рис.4 показан процесс распыления воды ультразвуковым дисковым излучателем при использовании двух трубок в качестве системы подачи жидкости.



Рис. 5. Распыление жидкости УЗ дисковым излучателем с использованием системы подачи из двух медных трубок

Производительность при реализованном способе подачи жидкости к колеблющейся поверхности диска была увеличена до 200 л/час.

Однако такая конструкция не лишена нескольких недостатков:

1) Формируемый аэрозоль осажается на трубках для подачи и сливается в емкость для сбора не распыленной жидкости.

2) Большое гидравлическое сопротивление в трубках приводит к неравномерному распределению распыляемой жидкости по зонам поверхности диска с максимальной амплитудой, вследствие чего неравномерно используется энергия колебаний диска.

Поэтому, в следующих исследованиях была предпринята попытка устранить экранирующее влияние системы подачи.

Наилучшие результаты по производительности дали эксперименты, в которых подача распыляемой жидкости осуществлялась на верхнюю четверть колеблющейся поверхности дискового излучателя горизонтально расположенной УЗКС. В качестве системы подачи жидкости была использована предыдущая конструкция, доработанная путём перекрытия части отверстий, состоящая из двух трубок с двадцатью отверстиями, диаметром 0,8 мм (см. Рис.6).

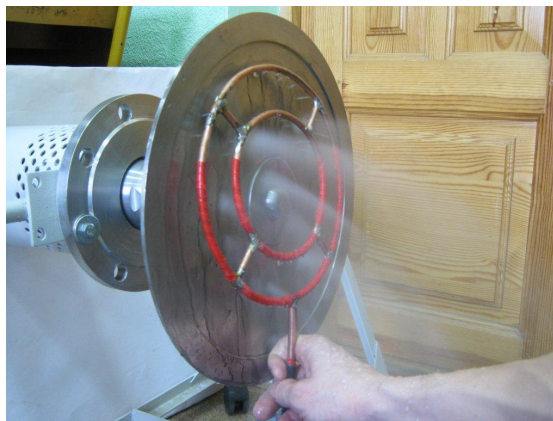


Рис. 6. Распыление жидкости, подаваемой на верхнюю четверть диска

Струи воды под определенным напором были направлены в верхнюю часть диска на зоны с максимальной амплитудой колебаний, с расстояния 300 - 400 мм. При этом часть не распыленной жидкости с верхней четверти диска стекает ниже по областям с максимальной амплитудой колебаний и распыляется. При таком способе подачи жидкости распыление шло наиболее равномерно по всей площади колеблющихся зон диска с производительностью до 300 л/час. Потребляемая электрическая мощность используемого дискового излучателя составила порядка 100 Вт при максимальной амплитуде механических колебаний. Измерение потребляемой электрической мощности производилось анализатором качества электрической энергии МТ 1010 фирмы Motech [6].

Значения производительности, удельной производительности распыления дисковыми излучателями и удельные энергозатраты с рассмотренными системами подачи жидкости, представлены в Табл. I.

ТАБЛИЦА I
 ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАСПЫЛЕНИЯ И УДЕЛЬНЫЕ
 ЭНЕРГОЗАТРАТЫ

Характеристика	Значение
Средний диаметр капель, образующихся при распылении, мкм	Не более 100
Производительность распыления, л/час:	
душевая насадка	100
система подачи в виде двух колец трубок	200
четверть предыдущей конструкции	300
Удельные энергозатраты, Вт*час/л.	
душевая насадка	0,9
система подачи в виде двух колец трубок	0,45
четверть предыдущей конструкции	0,3
Удельная производительность мл/сек/см ² .	
душевая насадка	0,07
система подачи в виде двух колец трубок	0,13
четверть предыдущей конструкции	0,2

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы исследованы функциональные возможности ультразвуковых дисковых излучателей при распылении жидкостей и установлено, что при использовании УЗ колебательной системы с дисковым излучателем диаметром 250 мм и системы подачи жидкости состоящей из двух трубок с двадцатью отверстиями, диаметром 0,8 мм была достигнута производительность распыления в 300 л/час. При этом потребляемая мощность составила 100 Вт, что соответствует удельной производительности распыления на единицу площади 0,2 мл/сек/см².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кикучи, Е. Ультразвуковые преобразователи [Текст] / Е. Кикучи. – М.: Мир, 1972. – 424 с.
- [2] Хмелев, В.Н. Разработка ультразвукового оборудования для разрушения пен и исследование его функциональных возможностей [Текст] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.Н. Галахов – Вестник ТГТУ. 2011. Том 17. № 4. Transactions TSTU. ISSN 0136–5835. с. 969–978.
- [3] Хмелев, В.Н. Метод расчета ультразвуковых излучателей на основе изгибных колебаний дисков ступенчато-переменной формы [Текст] / В.Н. Хмелев, В.А. Киданов, А.В. Шалунов, А.Н. Лебедев. – International conference and seminar on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2010. – Novosibirsk: NSTU, 2010.
- [4] Хмелев, В.Н. Метод аналитического расчета и оптимизации формы колебаний ступенчато-переменных излучателей для воздействия на газовые среды [Текст] / В.Н. Хмелев, В.А. Киданов, А.Н. Галахов, А.Н. Лебедев. – Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП–2010): материалы 7-й Всероссийской научно-технической конференции. – Бийск: АлтГТУ, 2010. – с.102–105.
- [5] Хмелев, В.Н. Способ повышения качества работы систем ФАПЧ электронных ультразвуковых технологических аппаратов [Текст] / В.Н. Хмелев [и др.] // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях: межвузовский сборник / под ред. Г.В. Леонова. – Бийск, 2002. – С. 178–184.
- [6] Хмелёв, В.Н. Ультразвуковое распыление [Текст] Шалунов А.В., Шалунова А.В. // Алтайский гос. тех. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010, 192с