

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ В ПРОТОЧНЫХ ОБЪЁМАХ

С.В. Левин, В.Н. Хмелёв, С.С. Хмелёв, Ю.М. Кузовников, С.Н. Цыганок

В статье рассматривается исследование и создание системы контроля для исследования эффективности ультразвуковой обработки в проточных объёмах, основанной на измерении амплитуды колебаний и ее распределения вдоль поверхности технологических объемов.

Ключевые слова: ультразвуковые технологические аппараты, ультразвуковое воздействие.

ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковые воздействия применяются в различных отраслях промышленности, обеспечивая интенсификацию различных технологических процессов. При этом наибольшее практическое распространение получило ультразвуковое оборудование, применяемое для интенсификации технологических процессов в жидких и жидко–дисперсных средах (диспергировании, эмульгирование, экстракция, очистка).

Для обеспечения непрерывности технологических процессов при реализации максимального энергетического воздействия применяются ультразвуковые проточные аппараты [1], использующее многополуволновые пьезоэлектрические колебательные системы [2, 3], способные обеспечить равномерное ультразвуковое воздействие в цилиндрических (протяженных по длине) технологических объемах.

В проточных технологических объемах, представляющих собой полые цилиндры, излучатель ультразвуковых колебаний, выполненный в виде стержня переменного сечения, размещается таким образом, что излучение УЗ колебаний происходит от участков, на которых диаметр излучателя изменяется, поэтому распределение интенсивности поля УЗ колебаний внутри ограниченного объема, заполненного жидкостью, носит сложный характер.

К сожалению, при создании технологических объемов это не учитывается, не оптимизируются формы и размеры объемов для обеспечения максимально эффективного и равномерного воздействия. На практике это приводит к неравномерности воздействия на обрабатываемые среды, и, в конечном счете, к снижению качества производимой продукции.

Теоретические расчеты [4] распределения колебаний в замкнутых объемах не учи-

тывают множества влияющих факторов (вязкость сред, дисперсность, затухание колебаний и т. п.), поэтому не позволяют получать информацию о реальном состоянии ультразвукового воздействия внутри технологических объемов при обработке различных технологических сред.

В связи с этим возникает необходимость в создании системы контроля для исследования эффективности ультразвуковой обработки в проточных объёмах.

Поскольку, основным параметром, определяющим эффективность ультразвукового воздействия [5, 6, 7] является амплитуда колебаний (интенсивность), становится очевидным реализация системы контроля путем определения значений и равномерности распределения колебаний.

К сожалению, исследование величины амплитуды и её распределения внутри объёма невозможно из-за невозможности размещения и перемещения датчиков, искажения ими создаваемого поля воздействия и из-за их кавитационного разрушения. Поэтому единственно возможным является реализация контроля амплитуды колебаний на внешней поверхности технологического объёма. Это позволяет косвенно контролировать величину и распределение амплитуды колебаний, создаваемых ультразвуковым излучателем внутри объёма, на основании значений на его поверхности.

Контроль распределения амплитуды колебаний

Для контроля распределения амплитуды колебаний излучателя используется разработанный ранее измерительный стенд [8], в котором в качестве измерительного устройства используется приемный пьезоэлектрический преобразователь с точечным контактом в виде иглы [9].

К сожалению, длительная эксплуатация такого измерительного устройства позволила установить невозможность контроля амплитуд излучающих поверхностей, колеблющихся с амплитудами более 5...10 мкм, а именно такие амплитуды реализуется в условиях реальной эксплуатации колебательных систем. Обусловлено это тем, что при амплитудах колебаний более 5...10 мкм происходит потеря контакта пьезоприемника с поверхностью излучателя, разрушение контакта металлического стержня с пьезоэлементом и разрушение самого пьезоэлемента.

В связи с этим, первоочередной задачей для создания системы контроля стало создание нового устройства контроля, способного обеспечить возможность контроля амплитуд излучающих поверхностей, колеблющихся с амплитудами более 5...10 мкм в условиях реальной эксплуатации колебательных систем.

Предлагаемое решение

Для решения поставленной задачи было предложено и разработано устройство контроля, представленное на рисунке 1.

Отличительная особенность предложенного устройства в том, что металлический волновод 1 снабжён контактной площадкой, между которой и пьезоэлементом 2 размещена эластичная прокладка из звукопоглощающего материала 8, позволяющая избежать потери контакта пьезоприемника с поверхностью излучателя и разрушения самого пьезоэлемента.

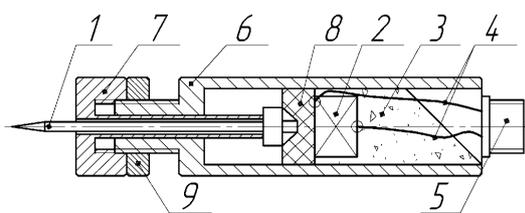


Рисунок 1 – Устройство контроля амплитуды механических колебаний:

- 1 – металлический волновод;
- 2 – пьезоэлектрический элемент;
- 3 – демпфер (эпоксидный компаунд);
- 4 – провода; 5 – электрический разъем;
- 6 – корпус; 7 – цилиндрическая втулка с гайкой; 8 – эластичная прокладка из звукопоглощающего материала;
- 9 – контргайка

Контроль амплитуды колебаний переходных поверхностей многополуволновых излучателей переменного сечения осуществляется касанием заостренной стороны волновода в точке колеблющейся поверхности, таким образом, чтобы сигнал, фиксируемый осциллографом, имел наибольшее значение. Передаваемые колебания возбуждают пьезо-

электрический элемент 2, на котором возникает электрическое напряжение, пропорциональное амплитуде механических колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы.

Таким образом, используя разработанное устройство в составе измерительного стенда, стало возможным создание системы контроля амплитуды колебаний поверхности проточного объема (рисунок 2).



Рисунок 2 – Контроль распределения амплитуды колебаний

Анализ распределения колебаний позволил установить, что вид распределения амплитуды колебаний на поверхности технологического объема совпадает с распределением амплитуды самого полуволнового излучателя, имея наличие максимумов и минимумов амплитуд колебаний. Для исключения шумовой составляющей, обусловленной кавитационными процессами, измерение производилось при избыточном давлении в проточном объеме (рисунок 3).

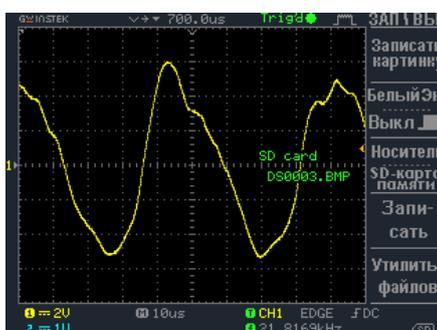
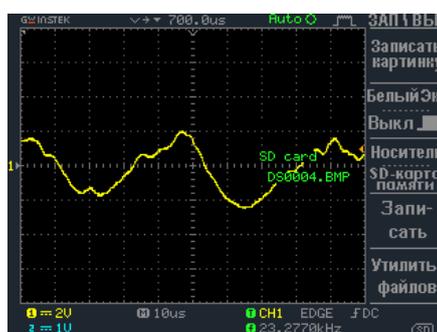


Рисунок 3 – Максимумы и минимумы амплитуд колебаний при избыточном давлении

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ В ПРОТОЧНЫХ ОБЪЕМАХ

Из представленных осциллограмм видно, что даже при наличии зон с максимальной и минимальной интенсивностями внутри объёма, с учетом затухания и дифракционного расхождения, отражения от границ раздела средняя амплитуда колебаний за счёт резонансных явлений внутри технологического объёма (у внутренней поверхности стенок) возрастает не менее чем в три раза.

В таком случае, с учетом известных данных [7] об амплитуде (15 мкм) и интенсивности (около 10 Вт/см²) колебаний на поверхности излучателей аппаратов серии Булава [1] и в ограниченных объемах аппаратов серии Булава – П следует ожидать значений интенсивности УЗ воздействия не менее 25–30 Вт/см². Таких интенсивностей УЗ воздействия будет достаточно для обеспечения интенсивного кавитационного воздействия даже в высоковязких средах.

Такая картина распределения колебаний реализуется на практике при ультразвуковой обработке однородных жидкостей.

Проведенные измерения позволили установить, что при обработке различных сред, например, при реализации процесса эмульгирования (масло в воде или вода в масле) в горизонтально расположенном технологическом объеме, среды, протекая вдоль оси объёма подвергаться различному по интенсивности ультразвуковому воздействию. Проблема усугубляется при решении задач ультразвуковой обработки дисперсных сред с жидкой несущей фазой (диспергирование, экстрагирование, распределение упрочняющих компонентов в смолах и полимерах, реализация процесса на катализаторах). Результаты контроля показали, что аномально высокое затухание колебаний и возможность формирования осадка твердых частиц обуславливают невозможность обеспечения необходимого уровня интенсивности воздействия в некоторых зонах технологических объемов, что нарушается равномерность обработки (рисунок 4).

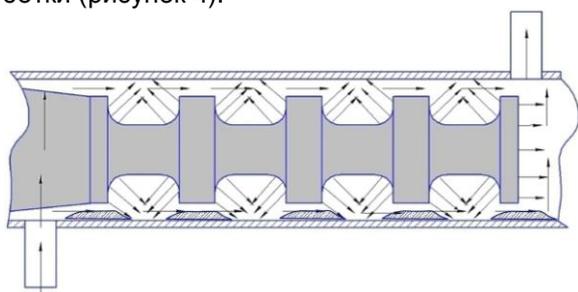
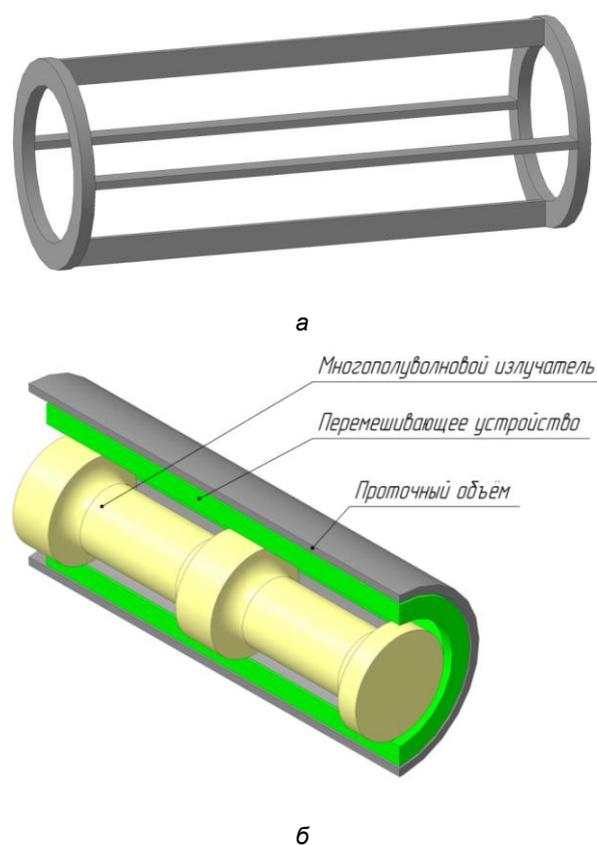


Рисунок 4 – Формирование осадка

Наиболее простым решением проблемы обеспечения равномерности ультразвукового воздействия на всю обрабатываемую среду является размещение в проточном объеме перемешивающего устройства, которое бы способствовало поднятию осадка и распределению его в среде по всему объёму или дополнительному перемешиванию жидкостей различной вязкости для обеспечения повышения эффективности ультразвукового воздействия (рисунок 5, а).



б

Рисунок 5 – Перемешивающее устройство

Для обеспечения равномерности и исключения влияния на распределение колебаний было исследовано влияние перемешивающего устройства при горизонтальном расположении объёма (рисунок 5, б).

В процессе проведения контрольных измерений, варьируя изменением скорости потока обрабатываемой среды через объём и скоростью вращения перемешивающего устройства удается добиваться максимального эффекта ультразвукового воздействия при обработке различных сред.

В результате проведенной работы создана система контроля для исследования эффективности ультразвуковой обработки в проточных объемах, основанная на измере-

нии амплитуды колебаний и ее распределения вдоль поверхности технологических объемов.

Проведенные исследования функциональных возможностей созданной системы позволили установить, что применение прочных объемов в составе ультразвуковых технологических аппаратов позволяет обеспечить, за счет резонансных явлений, увеличение интенсивности ультразвукового воздействия на технологические среды не менее чем в три раза.

Реализация системы контроля позволила рекомендовать применение дополнительных перемешивающих устройств внутри используемых технологических объемов при обработке сложных по составу (неоднородные, высокодисперсные) технологических сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный ресурс – Режим доступа: <http://www.u-sonic.com>.

2. Хмелев, В. Ультразвуковая колебательная система / В. Н. Хмелев, С. В. Левин, С. С. Хмелев, С. Н. Цыганок, Ю. М. Кузовников П.м. №138071.

3. Хмелёв, В. Ультразвуковая колебательная система / Хмелёв В. Н., Левин С. В., Цыганок С. Н., Хмелёв С. С. Пат. № 2473400.

4. Khmelev, V. Modes and conditions of efficient ultrasonic influence on high-viscosity media in the technological volumes / V. N. Khmelev, R. N. Golykh, S. S. Khmelev, A. V. Shalunov. – 2013 IEEE 14th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2013 – Proceedings. – Novosibirsk : NSTU, 2013. – P. 128–133.

5. Хмелев, В. Контроль амплитуды колебаний при создании и применении многополуволновых излучателей / В. Н. Хмелев, С. В. Левин, С. С. Хмелев. – Южно-Сибирский научный вестник. – 2014. – № 1(5). – С. 70–73. – Режим доступа: http://s-sibsb.ru/images/articles/2014/2%286%29/22_70-72.pdf.

6. Хмелев, В. Контроль амплитуды колебаний многополуволновых излучателей для повышения эффективности ультразвуковых технологических аппаратов / В. Н. Хмелев, С. В. Левин, С. С. Хмелев, С. Н. Цыганок. – Измерения, контроль, информатизация: материалы ХУ Международной научно-технической конференции 23 апреля 2014 года. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 69–73.

7. Хмелев, В. Контроль амплитуды колебаний при создании и применении многополуволновых излучателей / В. Н. Хмелев, С. В. Левин, С. С. Хмелев, С. Н. Цыганок. – Ползуновский вестник. – 2014. – № 2. – С. 216–219.

8. Хмелев, В. Стенд для контроля параметров пьезоэлектрических колебательных систем с многополуволновыми излучателями / В. Н. Хмелев, С. В. Левин, Д. С. Абраменко, С. С. Хмелев, С. Н. Цыганок. – Ползуновский вестник. – 2012. – № 2/1. – С. 151–154.

9. Хмелев, В. Пьезоэлектрический приемный преобразователь для измерения амплитуды колебаний ультразвуковой колебательной системы / В. Н. Хмелев, С. Н. Цыганок, Г. А. Титов, Е. Ю. Шипилова, Д. С. Абраменко. – Южно-сибирский научный вестник – 2013. – № 2 (4). – С. 64–68. – Режим доступа: http://www.s-sibsb.ru/images/articles/2013/2/15_64-67.pdf.

Левин С.В. – зам. директора по производству, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел. (3854) 435370, lsv@bti.secna.ru.

Хмелёв В.Н. – профессор, д.т.н., директор по науке, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел. (3854) 435380, vnh@bti.secna.ru.

Хмелёв С.С. – к.т.н., ведущий конструктор, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел. (3854) 435370, ssh@bti.secna.ru.

Кузовников Ю.М. – инженер, к.т.н., МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел. (3854) 435370.

Цыганок С.Н. – к.т.н., директор по производству, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел. (3854) 435370, grey@bti.secna.ru.