

УДК 621.38 (045)

## КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С МНОГОПОЛУВОЛНОВЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ

С.В. Левин, В.Н. Хмелёв, Д.С. Абраменко, С.С. Хмелёв, С.Н. Цыганок

В работе рассмотрены предложенные авторами новые подходы и практическая реализация контроля амплитуды колебаний ультразвуковых многополуволновых излучателей, входящих в состав ультразвуковых аппаратов различного назначения. Созданный стенд для контроля многополуволновых излучателей, реализующий на практике достоинства нескольких известных способов, обеспечил возможность контроля амплитуды колебаний при создании и эксплуатации ультразвуковых технологических аппаратов

**Ключевые слова:** ультразвуковое оборудование, измерительный стенд, амплитуда колебаний

### Состояние проблемы

Ультразвуковые (УЗ) методы интенсификации технологических процессов находят широкое применение в различных отраслях промышленности.

Это стало возможным благодаря созданию и практическому применению мощных УЗ аппаратов, способных вводить в обрабатываемые среды колебания с мощностью более 3000 Вт при помощи излучателей (рисунок 1) с развитой излучающей поверхностью (до 300 см<sup>2</sup>).



Рисунок 1 – Многополуволновой излучатель переменного сечения

В таких аппаратах пьезоэлектрическая колебательная система выполняется по специальной конструктивной схеме [1] и состоит из многополуволнового (до 7...15 размеров длин полуволн колебаний) излучателя, представляющего собой титановый стержень переменного сечения, и из многопакетного (до 7 пар кольцевых пьезоэлементов диаметром до 50 мм) пьезопреобразователя (рисунок 2).

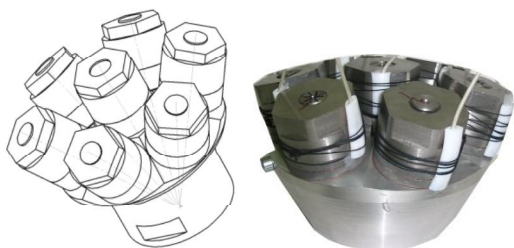


Рисунок 2 – Конструктивные схемы многопакетных преобразователей

Увеличенная площадь поверхности излучения, формируемая между участками различного диаметра и высокая мощность многопакетного пьезопреобразователя обеспечивают возможность существенного увеличения производительности (объёмов перерабатываемых технологических сред) при реализации различных технологических процессов. При этом, обеспечение наибольшей производительности процессов сопровождается максимальной скоростью реализации этих процессов за счет обеспечения самого эффективного УЗ воздействия в режиме развитой кавитации (при интенсивности не менее 10 Вт/см<sup>2</sup>).

На базе известной конструктивной схемы авторами разработана колебательная система, внешний вид которой представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Многополуволновая ультразвуковая колебательная система

Созданная УЗ колебательная система состоит из пьезоэлектрического преобразователя, обеспечивающего суммирование мощности колебаний, генерируемых каждым из пакетов пьезоэлементов малых размеров. Это позволяет обеспечить генерацию колебаний с интенсивностью, достаточной для обеспечения кавитационного режима УЗ воз-

## РАЗДЕЛ V. ИЗМЕРЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

действия без превышения предельно допустимых мощностных параметров пьезоэлементов и ультразвукового излучателя с развитой поверхностью переменного сечения.

При практической эксплуатации колебательных систем, входящих в состав мощного УЗ оборудования, в процессе настройки и эксплуатации возникает необходимость контроля основных параметров (резонансная частота и амплитуда колебаний), определяющих качество работы аппаратов и эффективность реализации технологических процессов.

Для контроля основных параметров колебательных систем в процессе их настройки и эксплуатации применяется несколько известных способов.

Самый распространенный способ измерения параметров ультразвуковых колебательных систем реализуется в процессе сборки, настройки и проверки вновь создаваемых систем на специальном измерительном стенде, состоящем из генератора образцовой частоты, осциллографа для наблюдения величины амплитуды, цифрового индикатора резонансной частоты и приемного пьезопреобразователя с точечным контактом. Контроль реализуется следующим образом. Сигнал переменной частоты от генератора напряжением в несколько десятков вольт подается на электроды пьезоэлементов колебательной системы. Контроль амплитуды механических колебаний УЗ частоты осуществляется при помощи приемного преобразователя с точечным контактом (измерительного щупа с игольчатым контактом), прижимаемого к колеблющейся поверхности. Механические колебания через точечный контакт поступают на пьезопреобразователь, преобразуются в электрические колебания и регистрируемый сигнал, пропорциональный амплитуде колебаний исследуемой поверхности, фиксируется осциллографом [2].

Однако такой способ позволяет контролировать только относительные изменения (равномерность распределения колебаний).

Для контроля абсолютных значений амплитуды колебаний излучающей поверхности колебательной системы используется стробоскопический способ визуального наблюдения колеблющихся поверхностей [3].

Однако такой способ не позволяет контролировать амплитуду колебаний излучающих поверхностей сложной формы (переходных участков переменного сечения) и в жидких технологических средах (т.е. под нагрузкой).

В связи с этим возникла необходимость в создании нового способа контроля амплитуды колебаний излучателей с развитой поверхностью излучения в процессе их эксплуатации в жидких средах, который бы объединял в себе достоинства описанных выше известных способов измерения.

### Предлагаемое решение

Созданный измерительный стенд, объединяющий в себе достоинства описанных способов измерения и позволяющий контролировать величину и распределение амплитуды колебаний вдоль всей излучающей поверхности, имеет объем, заполняемый технологической жидкостью для обеспечения реальных условий эксплуатации аппарата (рисунок 4). Однако высота технологического объема выбрана таким образом, что торцевая поверхность излучателя была расположена над поверхностью жидкости.

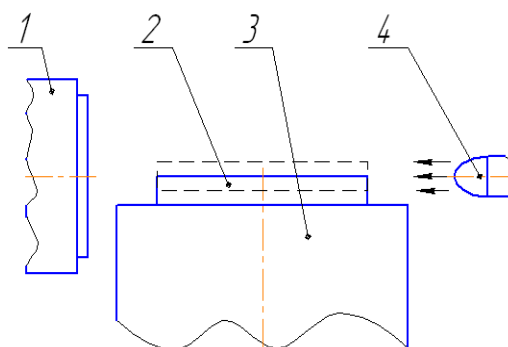


Рисунок 4 – Схема стенда для измерения амплитуды колебаний, где 1 - окуляр микроскопа, 2 – торец ультразвуковой колебательной системы, 3 – технологический объем с жидкостью, 4 – стробоскопическая система освещения

Стенд для контроля параметров пьезоэлектрических колебательных систем с многополуволновыми излучателями переменного сечения при работе в жидкой среде состоит из УЗ генератора 4 и колебательной системы 1 в технологическом объеме 3 (рисунок 5). Не погруженная в жидкость торцевая поверхность излучателя расположена между стробоскопической системой освещения 5 и окуляром микроскопа 2.

Созданный стенд был использован для контроля параметров ультразвукового технологического аппарата модели УЗТА – 8/22 - О, с потребляемой электрической мощностью до 8000 ВА [4].

В результате измерений было установлено, что при работе на жидкую среду в кавитационном режиме размах амплитуды коле-

## КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С МНОГОПОЛУВОЛНОВЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ

баний торцевой поверхности ультразвукового излучателя составил 14-16 мкм.



Рисунок 5 – Измерительный стенд, где 1 – ультразвуковая колебательная система, 2 – микрофон, 3 – технологический объём, 4 – ультразвуковой генератор, 5 – стробоскопическая система освещения, 6 – электронный генератор импульсов, 7 – генератор образцовой частоты, 8 – осциллограф, 9 – измерительный щуп

Сопоставляя данные, полученные двумя используемыми способами контроля, была определена амплитуда колебаний всех излучающих поверхностей (рисунок 6).

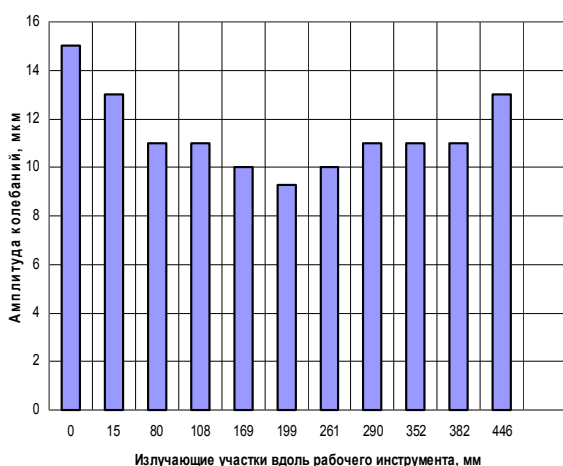


Рисунок 6 – Распределение амплитуды колебаний излучающих поверхностей инструмента вдоль оси

Результаты контроля амплитуды колебаний позволили определить интенсивность излучения в жидкость:

$$I=2\pi^2\rho c f^2 A^2,$$

где  $\rho$  – волновое сопротивление среды [кг/м<sup>3</sup>],  $c$  – скорость звука в материале излучателя (титан) [м/с],  $f$  – резонансная частота [Гц],  $A$  – амплитуда колебаний [м]. Измеренные значения амплитуды и ее распределения вдоль излучателя позволили определить среднюю интенсивность излучения, которая составила для излучения в воду 12 Вт/см<sup>2</sup>.

При сравнении полученных результатов с результатами калориметрического метода контроля [5] было установлено соответствие результатов, с расхождением не более 10%.

### Выводы.

Результатом проведенных исследований и проектирования был предложен и сконструирован измерительный стенд, позволяющий контролировать параметры пьезоэлектрических колебательных систем с многополуволновыми излучателями переменного сечения не только на стадии создания, но и в процессе эксплуатации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hielscher - Ultrasound Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.hielscher.com/ultrasonics/i4000\\_p.htm](http://www.hielscher.com/ultrasonics/i4000_p.htm)
2. Глухов, Н.А. Точечные источники ультразвука как инструмент контроля физико-механических свойств материалов / Н.А. Глухов.- Дефектоскопия, 1992, № 8, с. 49 - 51.
3. Патент 2292530 Российская федерация, МПК G01H 9/00. Способ измерения амплитуды колебаний/ Г.В. Леонов, В.Н. Хмелёв, И.И. Савин, Д.С. Абраменко; заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. - № 2005111032/28, заявл. 14.04.05; опубл. 27.01.07. Бюл. № 3. – 10 с.
4. Ультразвуковой технологический аппарат «Булава» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://u-sonic.ru/devices/bulava8>
5. ГОСТ 27955-88 (МЭК 782) Преобразователи ультразвуковые магнитострикционные. Методы измерения характеристик. – М.: Издательство стандартов, 1989.

Зам. директора по производству, **С.В. Левин** – [lsv@bti.secna.ru](mailto:lsv@bti.secna.ru); д.т.н., директор по науке, **В.Н. Хмелёв** - [vnh@bti.secna.ru](mailto:vnh@bti.secna.ru); к.т.н. главный метролог, **Д.С. Абраменко** - [ades@bti.secna.ru](mailto:ades@bti.secna.ru); к.т.н. инженер, **С.С. Хмелёв** - [ssh@bti.secna.ru](mailto:ssh@bti.secna.ru); к.т.н. директор по производству, **С.Н. Цыганок** - [grey@bti.secna.ru](mailto:grey@bti.secna.ru), (385-4)43-25-70. - Малое инновационное предприятие общество с ограниченной ответственностью «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ».