

# Контроль Распределения Амплитуды Колебаний на Излучающих Поверхностях Источников Ультразвукового Излучения

Владимир Н. Хмелев, *Senior Member, IEEE*, Сергей Н. Цыганок, Сергей В. Левин, *Student Member, IEEE*, Максим В. Демьяненко, Владислав А. Шакура.

Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия

Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия

**Аннотация** - Статья посвящена реализации контактного способа измерения амплитуды и ее распределения у источников колебаний ультразвуковой частоты, а именно: проектированию и разработке пьезоэлектрического приемного преобразователя с точечным (игольчатым) контактом. Измерены метрологические характеристики созданного устройства. Проведены измерения амплитуды и ее распределения у рабочего инструмента колебательной системы ультразвукового технологического аппарата, предназначенного для кавитационного воздействия на дисперсные системы с жидкой фазой.

**Ключевые слова** – Ультразвук, пьезоэлектрический преобразователь, амплитуда, кавитация.

## I. ВВЕДЕНИЕ

**А**МПЛИТУДА механических колебаний и ее распределение на излучающей поверхности источника ультразвукового излучения (ультразвуковой колебательной системы) является важнейшим параметром, характеризующим эффективность акустического воздействия. Амплитуда колебаний излучающих поверхностей определяет, с одной стороны, возможность и эффективность реализации тех или иных технологических процессов, а, с другой стороны, возможность и длительность практического применения элементов ультразвуковой колебательной системы, подверженных усталостному и кавитационному разрушению.

Поэтому контроль амплитуды колебаний излучающих поверхностей необходим при проектировании, настройке, проверке и ремонте ультразвуковых колебательных систем, а так же при практическом применении технологических аппаратов.

Для реализации контроля амплитуды механических колебаний и ее распределения на излучающей поверхности источника ультразвукового излучения применяются пьезоэлектрические приемные преобразователи с сухим точечным (игольчатым) контактом [1]. Их конструктивные особенности – передача колебаний через игольчатый волновод на пьезоэлектрический элемент – позволяют проводить контроль на поверхностях, колеблющихся с амплитудой не более 5 - 10 мкм. При ее превышении происходит механическое разрушение пьезопреобразователя.

Поскольку в практике современного применения ультразвуковых аппаратов требуются воздействия с амплитудой более 10 - 30 мкм (что соответствует интенсивностям излучения в водных средах от 5 до 15 Вт/см<sup>2</sup>, обеспечивающим протекание кавитационных процессов) возникает необходимость в проектировании, разработке и создании пьезоэлектрических приемных преобразователей, способных контролировать амплитуду механических колебаний ультразвуковой частоты до 30 мкм в диапазоне от 10 кГц до 100 кГц в любой точке излучающей поверхности.

## II. ТЕОРИЯ

Для устранения вышеуказанного недостатка в малом инновационном предприятии ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ» был предложен и разработан пьезоэлектрический приемный преобразователь с точечным контактом для контроля амплитуды колебаний, конструкция которого представлена на Рис.1.

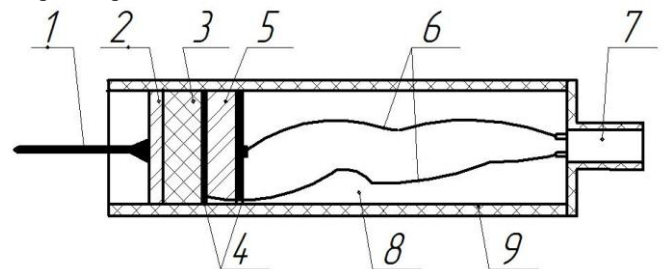


Рис. 1. Конструкция пьезоэлектрического приемного преобразователя: 1 – металлический стержень; 2 – металлическая пластина; 3 – полиуретановый эластомер; 4 – медные электроды; 5 – пьезоэлектрический элемент; 6 – провода; 7 – электрический разъем; 8 – демпфер (эпоксидный компаунд); 9 – корпус.

Принцип работы созданного устройства заключается в следующем. Металлический стержень 1 в виде иглы, припаянный к металлической пластине 2, касается в точке колеблющейся поверхности ультразвуковой колебательной системы. Воспринимаемые механические колебания передаются на полиуретановый эластомер 3, где происходит их нормированное ослабление. Далее передаваемые колебания возбуждают пьезоэлектрический элемент 5, представляю-

ший собой пьезоэлектрический элемент из пьезоэлектрической керамики марки ЦТС-19, на электродах 4 которого возникает электрическое напряжение, пропорциональное амплитуде механических колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы. Разъем 7 предназначен для подключения пьезоэлектрического приемного преобразователя к измерительному прибору с целью измерения параметров формируемого напряжения – амплитуды и частоты. Демпфер 8, выполненный из эпоксидной смолы ЭД-20 с отвердителем полиэтиленополиамин, способствует устранению паразитных колебаний элементов преобразователя. Выполненное устройство заключено в корпус 9. Участок металлического стержня, выступающего за резиновый уплотнитель, под действием колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы может потерять динамическую устойчивость. Поэтому его длина ограничена критической длиной, которую можно определить следующим образом [2]:

$$l^2 = \frac{a * C_{cm} * d}{2f}, \quad (1)$$

где  $a$  – коэффициент, определяемый граничными условиями;  $C_{cm}$  – скорость ультразвуковых колебаний в материале металлического стержня;  $d$  – диаметр стержня;  $f$  – частота колебаний.

При подстановке значений частоты в измеряемом диапазоне (от 10 кГц до 100 кГц) в формулу (1) среднее значение длины выступающей части металлического стержня было принято равным 15.0 мм.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

#### А. Калибровка

Для определения амплитудно-частотной характеристики созданного пьезоэлектрического приемного преобразователя (АЧХ) использован измерительный стенд, структурная схема которого представлена на Рис.2.

Для качественной оценки формы выходного сигнала с пьезоэлемента пьезоэлектрического приемного преобразователя использовался осциллограф, а для количественной оценки сигнала – милливольтметр. Во время измерения обеспечивался прижим с постоянным усилием ( $F$ ) пьезоэлектрического приемного преобразователя к поверхности колеблющейся элемента (пьезоэлектрической пластине).

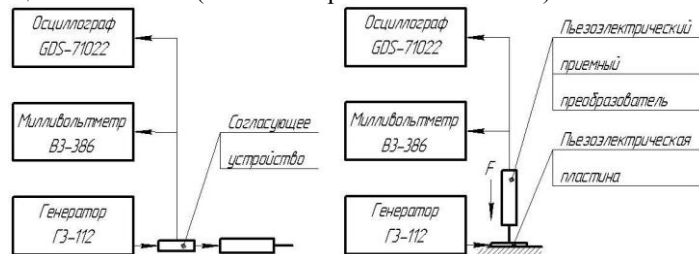


Рис. 2. Стенд для измерения амплитудно-частотной характеристики

Результаты многократных измерений приведены на Рис.3.

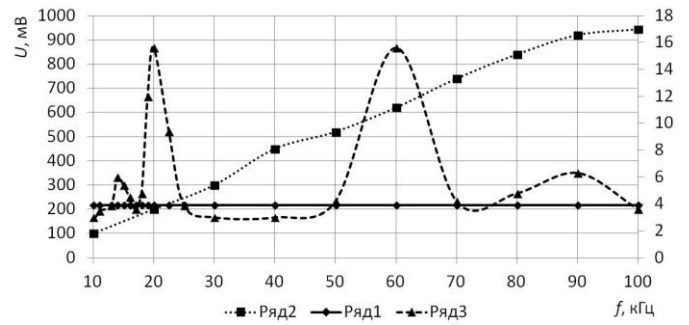


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика пьезоэлектрического приемного преобразователя: на согласующем устройстве (ряд 2), с помощью пьезоэлектрической пластины (ряд 3) и обработанная (ряд 1)

Для калибровки разработанного пьезоэлектрического приемного преобразователя при контроле амплитуды был использован измерительный стенд, структурная схема которого аналогична приведенного на Рис.1 (слева). В качестве источника ультразвукового воздействия использовался аппарат ультразвуковой сварки «Гиминей-ультра» модель АУС-0.4/22-ОМ, обеспечивающий работу колебательной системы на частоте 22 кГц с амплитудой колебаний рабочего инструмента не менее 40 мкм [3].

В процессе проведения многократных измерений усилие прижима нормировалось с помощью штатива и груза фиксированной массы. Масса груза выбиралась такой, чтобы исключить повреждение пьезоэлектрического приемного преобразователя и убрать искажения его выходного сигнала из-за нарушения точечного контакта и излучающей поверхности рабочего инструмента ультразвуковой колебательной системы. При этом анализировалась форма выходного сигнала (синусоида без значительных искажений) и находилось среднее значение выходного сигнала в вольтах. Для исследуемого пьезоэлектрического приемного преобразователя была установлена чувствительность пьезоэлектрического приемного преобразователя. При контроле амплитуды колеблющейся на частоте 22 кГц поверхности она составила 0.86 В/мкм.

#### В. Контроль амплитуды колебаний в жидкой среде

Одним из назначений пьезоэлектрического приемного преобразователя является контроль амплитуды колебаний рабочего инструмента ультразвукового технологического оборудования при кавитационном воздействии на дисперсную среду с жидкой фазой. Структурная схема измерительного стенда представлена на Рис.4.

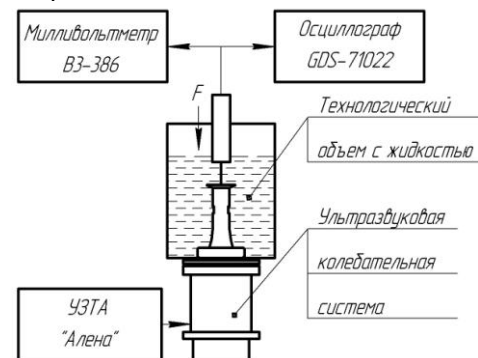


Рис. 4. Стенд для измерения амплитуды колебаний и ее распределения

В качестве генератора использовался ультразвуковой технологический аппарат «Алена» модель УЗТА-0.15/22-ОСУ с частотой ультразвуковых колебаний 22 кГц [3]. Выбор аппарата обусловлен наличием технологического объема и возможностью погружения колебательной системы в воду. Результаты измерений распределения амплитуды колебаний вдоль поверхности грибовидного рабочего инструмента диаметром 20 мм приведены на Рис.5.

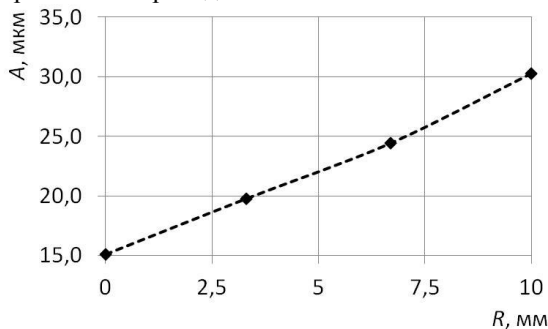


Рис. 5. Распределение амплитуды колебаний по излучающей поверхности рабочего инструмента ультразвукового технологического аппарата «Алена»



**Sergey N. Tsyganok** was born in Biysk, Russia, 1975. Now he is Ph.D (Machinery), he received degree on information measuring engineering and technologies from Altay State Technical University, key specialist of electronics. Laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering. His main research interest are development of high -effective multifunctional oscillators for ultrasonic technological devices.

#### **Sergey V. Levin**

**Maksim V. Demianenko** was born in Biysk, Russia in 19???. In this time he is aspirant of Biysk Technological Institute.

**Vladislav A. Shakura** was born in Biysk, Russia in 1991. In this time he is aspirant of Biysk Technological Institute.

#### IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный пьезоэлектрический приемный преобразователь позволяет контролировать амплитуду ультразвуковых колебаний и ее распределение по колеблющейся излучающей поверхности в диапазоне до 30 мкм. Расширение диапазона контролируемых амплитуд может быть обеспечено заменой материала демфера на материалы с более высокими характеристиками поглощения ударов и вибраций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Титов Г.А., Шпилова Е.Ю., Абраменко Д.С. Пьезоэлектрический приемный преобразователь для измерения амплитуды колебаний ультразвуковой колебательной системы // Южно-сибирский научный вестник –2013. – № 2 (4). – С. 64-68.
- [2] Голямина И.П. Ультразвук. Малая энциклопедия /под. ред. И.П. Голямина. – М.: «Советская энциклопедия», 1979. – 400 с.
- [3] Каталог сайта ООО «Центр ультразвуковых технологий» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://u-sonic.com/catalog/>.



**Vladimir N. Khmelev** (SM'04) — pro-rector at Biysk technological institute, professor, Full Doctor of Science (ultrasound). Honored inventor of Russia. Laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering. Area of scientific interests is application of ultrasound for an intensification of technological processes. IEEE member since 2000, IEEE Senior Member since 2004. His biography published in 7<sup>th</sup> issue of book —Who is who in scientific and engineering||