

УДК: 534 (0.45)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ АМПЛИТУДЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ИЗЛУЧАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В.Н. Хмелев, С.Н. Цыганок, С.В. Левин, М.В. Демьяненко, В.А. Шакура

Статья посвящена разработке и исследованию пьезоэлектрического приемного преобразователя с точечным (игольчатым) контактом, предназначенного для контроля амплитуды механических колебаний и ее распределения на излучающей поверхности ультразвуковых колебательных систем. 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: ультразвуковые колебания, пьезоэлектрический преобразователь, измерение амплитуды

Введение

Амплитуда 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, подвергаемых усталостному и кавитационному разрушения.

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

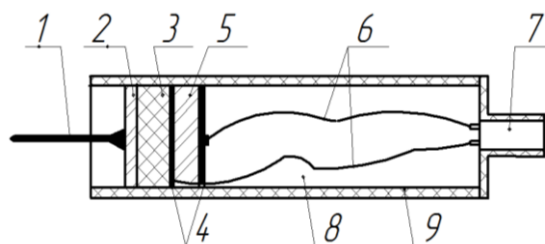
Для реализации контроля амплитуды механических колебаний и ее распределения на излучающей поверхности источника ультразвукового излучения применяются пьезоэлектрические приемные преобразователи с сухим точечным (игольчатым) контактом [1]. Их конструктивные особенности – передача колебаний через игольчатый 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 требуется воздействия с амплитудой более 10-

30 мкм (что соответствует интенсивностям излучения в водных средах от 5 до 15 Вт/см², 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.

Разработка преобразователя

Для решения поставленной задачи 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 приведена на рисунке 1.



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

Рисунок 1 – Конструкция пьезоэлектрического приемного преобразователя.

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, представляющий 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.

Изготовленные конструкции пьезоэлектрических приемных преобразователей отличались первичным преобразователем, а именно используемым пьезоэлектрическим элементом.

Участок металлического стержня, выступающий за резиновый уплотнитель, под действием колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы может потерять динамическую устойчивость, поэтому его длина ограничена критической длиной, которую можно 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.

Калибровка

Для определения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) созданного пьезоэлектрического приемного преобразователя ис-

пользован измерительный стенд, структурная схема которого представлена на рисунке 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).

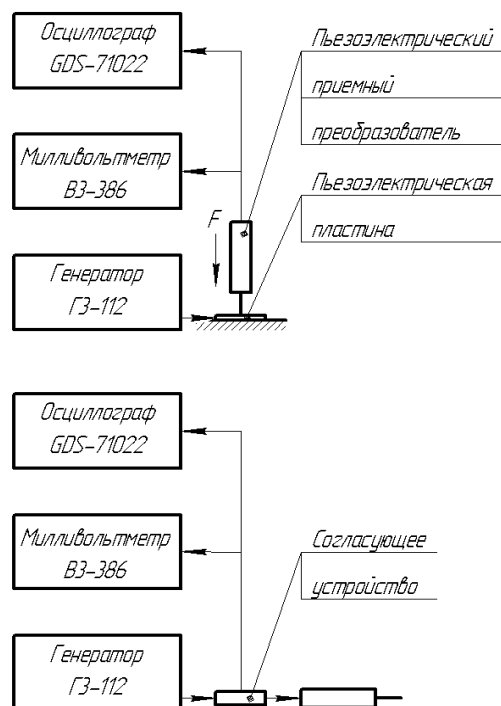


Рисунок 2 – Структурная схема стенда для измерения амплитудно-частотной характеристики.

В первом случае генератор низкочастотный ГЗ-112 предназначался для возбуждения в пьезоэлектрической пластине механических колебаний частотой от 10 до 100 кГц. Их амплитуда измерялась исследуемым пьезоэлектрическим приемным преобразователем. Во втором случае генератор низкочастотный ГЗ-112 предназначался для возбуждения механических колебаний частотой от 10 до 100 кГц через согласующее устройство в пьезоэлектрическом элементе преобразователя. При этом измерялось выходное напряжение с согласующего устройства.

Усредненные результаты измерений пьезоэлектрических приемных преобразователей с разными первичными преобразова-

телями (пьезоэлементами) приведены на рисунках 3 и 4.

Анализ графиков показал, что у пьезоэлектрических приемных преобразователей наблюдаются резонансы на одинаковых частотах. Предположительно это обусловлено резонансными свойствами возбуждаемой пьезоэлектрической пластины и при обработке результатов измерений они были исключены. Характер возрастания характеристики с использованием согласующего устройства обусловлен следующим. С увеличением частоты сигнала, подаваемого на пьезоэлектрический приемный преобразователь, уменьшается емкостное сопротивление согласующего устройства. Это влечет за собой увеличение тока, текущего через согласующее устройство, и, следовательно, приводит к увеличению падения напряжения на нем.

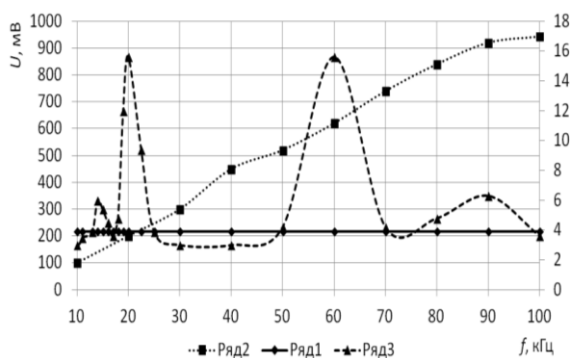


Рисунок 3 – Амплитудно-частотная характеристика пьезоэлектрического приемного преобразователя с пьезоэлементом $\varnothing 7 \times 1$ мм: на согласующем устройстве (ряд 2), с помощью пьезопластины (ряд 3), обработанная (ряд 1).

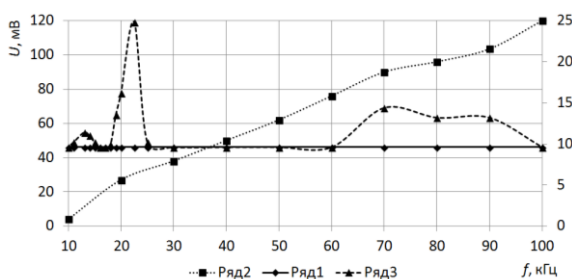


Рисунок 4 – Амплитудно-частотная характеристика пьезоэлектрического приемного преобразователя с пьезоэлементом $5 \times 5 \times 1$ мм: на согласующем устройстве (ряд 2), с помощью пьезопластины (ряд 3), обработанная (ряд 1).

В дальнейших исследованиях использовался пьезоэлектрический приемный преобразователь с пьезоэлементом $5 \times 5 \times 1$ мм.

Структурная схема измерительного стенда для его калибровки приведена на рисунке 5.

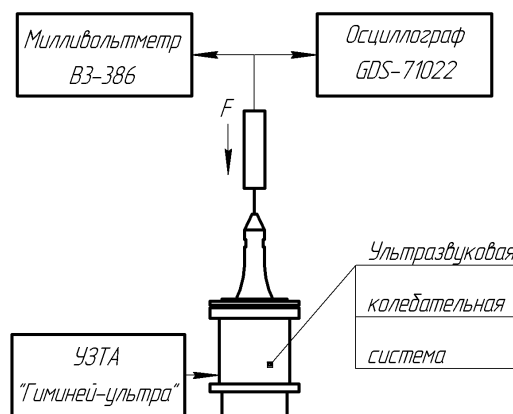


Рисунок 5 – Стенд для калибровки пьезоэлектрического приемного преобразователя.

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 – соответствие между амплитудой выходного сигнала пьезоэлектрического приемного преобразователя и амплитудой механических колебаний. При контроле амплитуды колебаний в 28 ± 2 мкм на частоте 22 кГц поверхности чувствительность составила 0,86 В/мкм. Максимальная измеряемая амплитуда на частоте 22 кГц составила 30 ± 2 мкм.

Контроль амплитуды колебаний в жидкой среде

Одним из назначений пьезоэлектрического приемного преобразователя является контроль амплитуды колебаний рабочего ин-

струмента ультразвукового технологического оборудования при кавитационном воздействии на дисперсную среду с жидкой фазой. Структурная схема измерительного стенда представлена на рисунке 6.

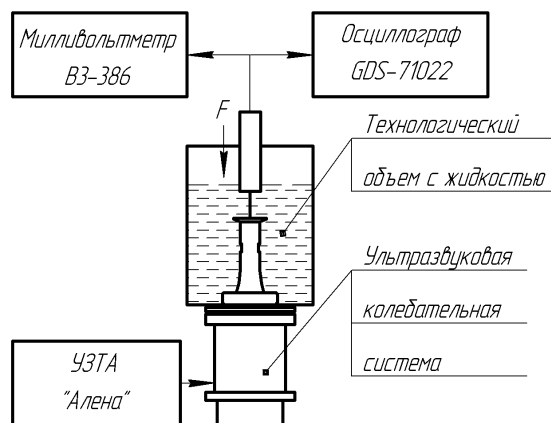


Рисунок 6 – Стенд для измерения амплитуды колебаний и ее распределения.

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 ультразвуковой колебательной системы в воду.

Результаты измерений распределения амплитуды колебаний вдоль поверхности грибовидного рабочего инструмента диаметром 20 мм с учетом чувствительности пьезоэлектрического приемного преобразователя приведены на рисунке 7.

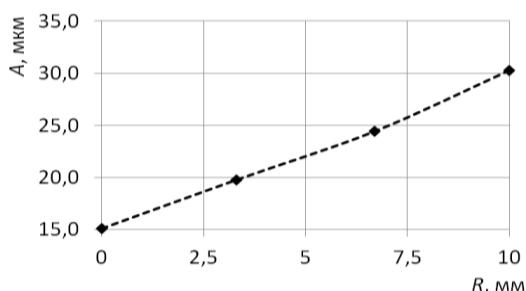


Рисунок 7 – Распределение амплитуды колебаний по излучающей поверхности рабочего инструмента ультразвукового технологического аппарата «Алена».

Выводы

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 (до 50 мкм и выше) может быть обеспечено заменой материала демпфера на материалы с более высокими характеристиками поглощения ударов и вибраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Голямина, И. Ультразвук. Малая энциклопедия / под. ред. И.П. Голямина. – М.: «Советская энциклопедия», 1979. – 400 с.
3. Каталог сайта ООО «Центр ультразвуковых технологий». Режим доступа: <http://u-sonic.com/catalog/>

Директор по науке, д.т.н. **Хмелев В.Н.** - vnh@bti.secna.ru; директор по производству, к.т.н. **Цыганок С.Н.** - grey@bti.secna.ru; зам. директора по производству **Левин С.В.** - lsv@bti.secna.ru; аспирант **Демьяненко М.В.** - mcsidrom@gmail.com; инженер-программист **Шакура В.А.** - shakura.va@bti.secna.ru – ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», (3854) 43-25-70.