

УДК: 534(0.45)

КОНТРОЛЬ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ И ПРИМЕНЕНИИ МНОГОПОЛУВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

В.Н. Хмелев, С.В. Левин, С.С. Хмелёв, С.Н. Цыганок

В статье представлены результаты исследований, показывающих как результаты контроля амплитуды колебаний при помощи созданного способа позволяют совершенствовать ультразвуковые излучатели. На примере исследования многополуволновых излучателей показана возможность повышения эффективности пьезоэлектрических колебательных систем с многополуволновыми излучателями, выполненными в виде стержней переменного диаметра

Ключевые слова: ультразвук, ультразвуковой технологический аппарат, пьезоэлектрическая колебательная система

Введение

Ультразвуковые (УЗ) аппараты широко применяются в различных отраслях промышленности, позволяя интенсифицировать технологические процессы [1]. Это стало возможным только благодаря созданию и промышленному применению в составе аппаратов многополуволновых излучателей ультразвуковых колебаний (рисунок 1) [2].



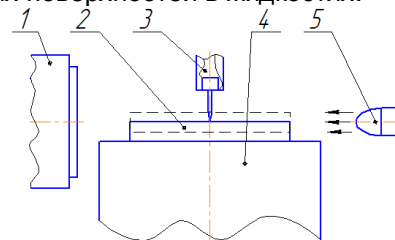
Рисунок 1 - Ультразвуковые технологические аппараты с многополуволновыми излучателями

Увеличение поверхности излучения в таких аппаратах обеспечивается за счет соосного и последовательного установления полуволновых по длине волноводов цилиндрической формы переменного диаметра. Поверхности переходов между участками различного диаметра являются поверхностями эффективного излучения УЗ колебаний [3].

Поскольку эффективность ультразвукового воздействия определяется амплитудой колебаний излучающих поверхностей, возни-

кает необходимость ее контроля при создании и эксплуатации излучателей в жидких средах.

Для контроля амплитуды колебаний многополуволновых излучателей предложен, разработан и реализован [3, 4] способ контроля, показанный на рисунке 2. Сущность способа заключается в одновременном контроле амплитуды колебаний торцевой поверхности излучателя бесконтактным стробоскопическим методом и контактно пьезоприемником с точечным контактом. Используя результаты сравнения полученных значений амплитуд колебаний и результаты контроля пьезоприемником других колеблющихся поверхностей определяют амплитуды колебаний и ее распределение на переходных излучающих поверхностях в жидкостях.



1 – окуляр микроскопа; 2 – торец ультразвуковой колебательной системы; 3 – пьезоприемник с точечным контактом; 4 – технологический объём с жидкостью; 5 – стробоскопическая система освещения.

Рисунок 2 - Стенд для контроля амплитуды колебаний

Использование предложенного способа контроля амплитуды колебаний позволило установить особенности уменьшения амплитуда колебаний на каждом из последующих от преобразователя модулей.

Используя данные контроля на этапе проектирования и создания излучателей, удалось установить, что длина каждого из последовательно установленных от преобразователя модулей ультразвукового излучателя должна выбираться из условия [5]:

$$L_n = \frac{c_1}{2fn^{-0,026}},$$

где c_1 – скорость распространения ультразвуковых колебаний в материале ультразвукового излучателя, [м/с]; f – рабочая частота преобразователя, [кГц]; n – количество модулей ультразвукового излучателя,

Кроме того, контроль амплитуды позволил оптимизировать общую частотопонижающую излучающую накладку многопакетного пьезоэлектрического преобразователя, где грани выполнены под углом к акустической оси, определяемым из условия:

$$\alpha = \frac{d \sqrt{\frac{4c_2^2}{f^2} - D^2 + 4d^2} - D \frac{c_2}{f}}{2 \left(d^2 + \frac{c_2^2}{f^2} \right)},$$

где d – внешний диаметр кольцевого пьезоэлемента, [м]; D – диаметр торцевой поверхности, контактирующей с бустерным звеном, [м]; c_2 – скорость распространения ультразвуковых колебаний в материале частотопонижающей излучающей накладки [м/с].

Не смотря на то, что наибольшее распространение получили излучатели [6] с переходами радиального типа, излучатели могут иметь различные по форме переходы между участками различного диаметра (рисунок 3).

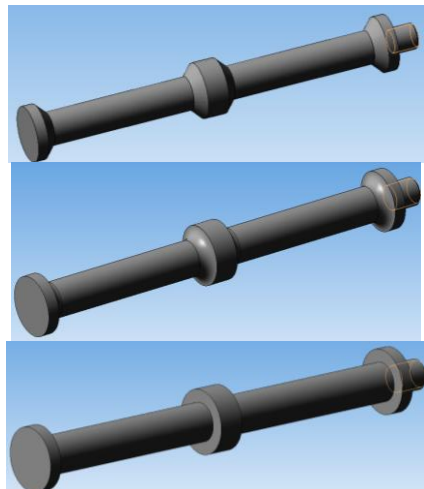


Рисунок 3 - Виды переходов многополюсниковых излучателей

При анализе результатов контроля распределения амплитуд (интенсивностей излучения) различных по форме излучателей была обнаружена зависимость величины амплитуды колебаний от формы перехода между участками различного диаметра, представленная в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследований ультразвуковых излучателей с различными формами переходов

№	Вид перехода	S, см ²	P _{ак} , Вт	P _{эл} , Вт	КП Д, %	I, Вт/см ²
1	Конический	32	384	600	63	11,84
2	Радиальный	33	353	600	57	10,53
3	Цилиндрический	25	334	600	53	13,7
4	Конический, вогнутый	25	393	600	65	15,4

Очевидно, наибольшую амплитуду (интенсивность излучения) можно обеспечить за счет выполнения рабочих инструментов с переходными участками в виде внутренних конусных переходов (поверхность излучения вогнута в цилиндрический элемент большего диаметра) между участками различного диаметра (рисунок 4).

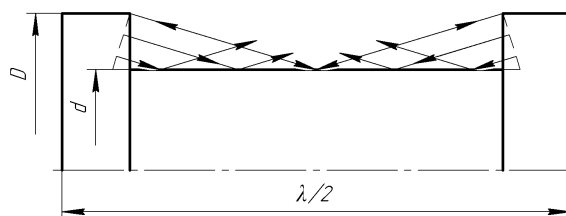


Рисунок 4 - Определение оптимального угла наклона излучающей поверхности

При этом оптимальным будет являться угол наклона излучающей поверхности к осевой линии излучателя (рисунок 5), выбранный из условия:

$$\alpha = 90^\circ - \text{arctg} \frac{11\lambda}{30(D-d)},$$

где λ – длина волны в материале излучателя на рабочей частоте колебательной системы, [м]; D – диаметр большего цилиндрического участка излучателя, [м]; d – диаметр меньшего цилиндрического участка, [м].

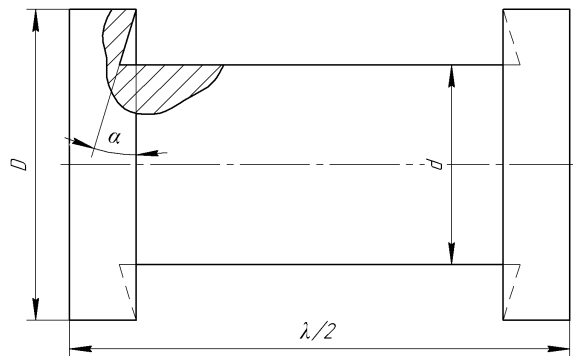
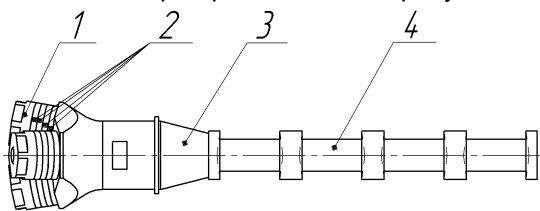


Рисунок 5 - Полуволновой модуль

Пример ультразвуковой колебательной системы в сборе представлен на рисунке 6.



1 - отражающая частотно-понижающая накладка; 2 - пьезоэлектрические элементы; 3 - бустерное звено; 4 - четырёхполуволновой ультразвуковой излучатель

Рисунок 6 - Ультразвуковая колебательная система с переходом в виде конической поверхности

Анализ кавитационного износа рабочего инструмента (размеры и глубина раковин) свидетельствует об амплитуде колебаний, соответствующей измеренным значениям и ее равномерности (рисунок 7).



Рисунок 7 - Кавитационный износ поверхности ультразвукового инструмента

Выводы.

Результаты контроля амплитуды колебаний позволили создать ультразвуковую колебательную систему с максимальным коэффициентом преобразования электрической энергии в энергию ультразвуковых колебаний, максимальной равномерностью излучения вдоль всех полуволновых резонансных

модулей, с интенсивностью излучения, достаточной для обеспечения кавитационного режима воздействия. Созданные излучатели позволили производить обработку жидких сред различной вязкости и дисперсного состава при решении задач диспергирования, эмульгирования, экстрагирования, очистки в химической, фармацевтической и пищевой промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмелёв, В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелёв, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов. – Бийск: изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 196 С.
2. Ультразвуковой технологический аппарат «Булава» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_dlya_protchnoy_obr_abotki_zhidkikh_sred/apparat_ultrazvukovoy_protchnyy_serii_bulava_p_01/.
3. Патент 2490607 Российская Федерация, МПК G01H9/00. Способ измерения амплитуды колебаний [Текст] / В.Н. Хмелёв, С.В. Левин, С.С. Хмелёв, С.Н. Цыганок, Д.С. Абраменко; Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Центр ультразвуковых технологий Алт ГТУ". - №2012111358/28, заявл. 23.03.2012; опубл. 20.08.2013.
4. Хмелёв, В.Н. Стенд для контроля параметров пьезоэлектрических колебательных систем с многополуволновыми излучателями [Текст] / В.Н. Хмелёв, С.В. Левин, С.С. Хмелёв, С.Н. Цыганок, Д.С. Абраменко // Ползуновский вестник. – 2012. – №2/1. – С. 151–154.
5. Патент 2473400 Российская Федерация, МПК B06B1/06. Ультразвуковая колебательная система [Текст] / В.Н. Хмелёв, С.В. Левин, С.С. Хмелёв, С.Н. Цыганок; Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Центр ультразвуковых технологий Алт ГТУ". - № 2011133763/28, заявл. 10.08.2011; опубл. 27.01.2013.
6. Khmelev, V.N. Efficiency increase of the processes by the optimization of the ultrasonic vibrating system consisting of half-wave modules of variable cross-section / Khmelev, V.N., Levin S.V., Khmelev S.S., Tsyganok S.N. // XII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2011. – Novosibirsk: NSTU, 2011. – P. 275–280.

Профессор, д.т.н., директор по науке Хмелёв В.Н. - vnh@bti.secna.ru; зам. директора по производству, Левин С.В. - lsv@bti.secna.ru; к.т.н., ведущий конструктор, Хмелёв С.С. - ssh@bti.secna.ru; к.т.н., директор по производству, Цыганок С.Н. - grey@bti.secna.ru – МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ».