

# КОНТРОЛЬ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ И ПРИМЕНЕНИИ МНОГОПОЛУВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

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

*Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

В статье представлены результаты исследований по контролю амплитуды колебаний торцевой поверхности многополуволновых излучателей, выполненными в виде стержней переменного диаметра одновременно бесконтактным стробоскопическим методом и контактно пьезоприемником с точечным контактом. Способ позволяет повысить эффективность ультразвуковых аппаратов при обработке жидких сред различной вязкости и дисперсного состава.

*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 (рис. 1) [2].



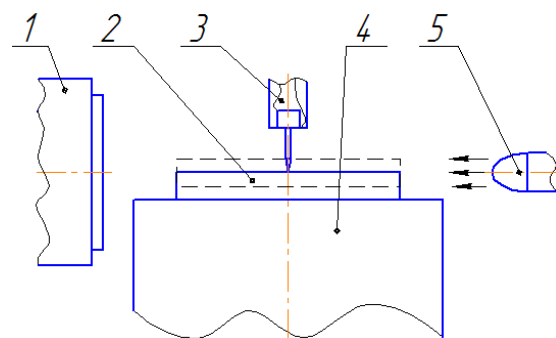
Рис. 1. Ультразвуковые технологические аппараты с многополуволновыми излучателями

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

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для контроля амплитуды колебаний многополуволновых излучателей предложен, разработан и реализован [3, 4] способ контроля, показанный на рис. 2.



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

Рис. 2. Стенд для контроля амплитуды колебаний

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.

Новизна предложенного способа контроля амплитуды колебаний заключается в установлении закономерности уменьшения амплитуда колебаний на каждом из последующих от преобразователя модулей и обосновании угла наклона излучающей поверхности к осевой линии излучателя.

Используя данные контроля на этапе проектирования и изготовления излучателей, выявлено, 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 частотнопонижающую излучающую накладку многопакетного пьезоэлектрического преобразователя, где грани выполнены под углом к акустической оси, определяемым из условия:

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

где  $d$  – внешний диаметр кольцевого пьезоэлемента, [м];  $D$  – диаметр торцевой поверхности, контактирующей с бустерным звеном, [м];  $c_2$  – скорость распространения ультразвуковых колебаний в материале частотнопонижающей 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 (рис. 3).

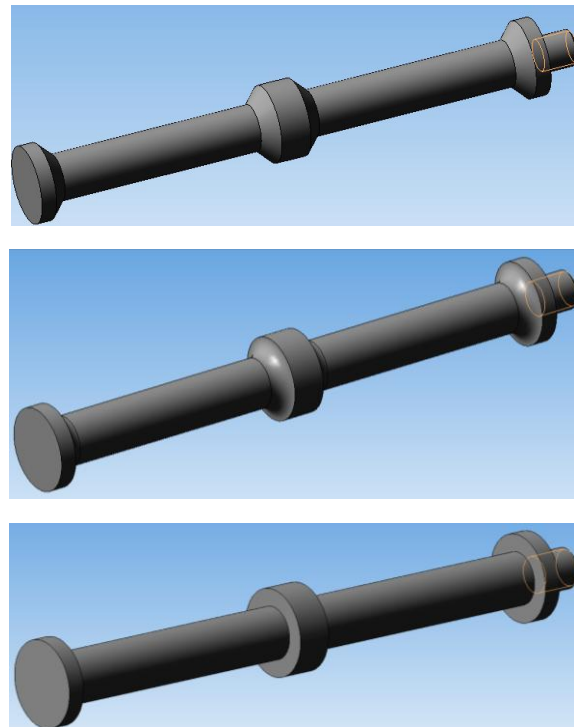


Рис. 3. Виды переходов многополуволновых излучателей

Из анализа результатов контроля распределения амплитуд (интенсивностей излучения) различных по форме излучателей обоснована зависимость величины амплитуды колебаний от формы перехода между участками различного диаметра (табл. 1).

Табл. 1. Результаты исследований ультразвуковых излучателей с различными формами переходов

№	Вид перехода	S, см <sup>2</sup>	P <sub>ак</sub> , Вт	P <sub>эл</sub> , Вт	КП Д, %	I, Вт/см <sup>2</sup>
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 (рис. 4).

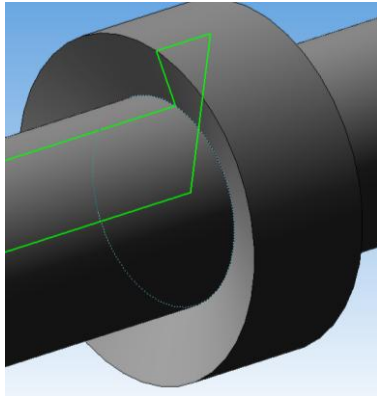


Рис. 4. Излучатель с переходом конической формы

На рис. 5 стрелками представлено оптимальное распространение ультразвуковых колебаний излучающими поверхностями и отражение их от поверхности цилиндра меньшего диаметра в обрабатываемый объём.

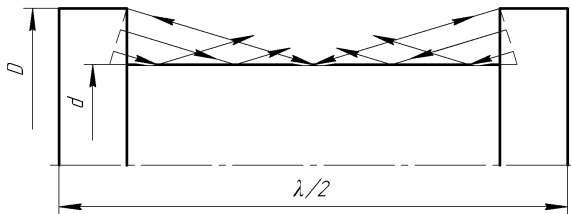


Рис. 5. Определение оптимального угла наклона излучающей поверхности

При этом оптимальным является угол наклона излучающей поверхности к осевой линии излучателя, выбранный из условия (рис. 6):

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

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

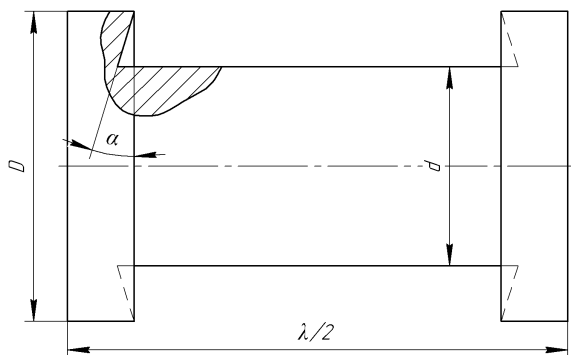
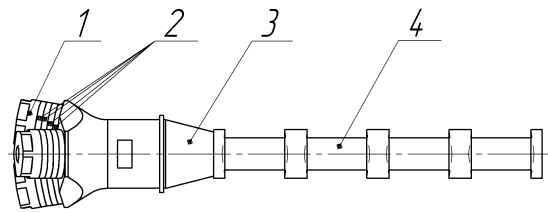


Рис. 6. Полуволновой модуль

Пример ультразвуковой колебательной системы в сборе представлен на рис. 7.



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

Рис. 7. 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 (рис. 8).



Рис. 8. Кавитационный износ поверхности ультразвукового инструмента

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хмельёв, В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности/ В.Н. Хмельёв, 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\\_obrabotki\\_zhidkikh\\_sred/apparat\\_ultrazvukovoy\\_protchnyy\\_serii\\_bulava\\_p\\_01/](http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_dlya_protchnoy_obrabotki_zhidkikh_sred/apparat_ultrazvukovoy_protchnyy_serii_bulava_p_01/).
3. Патент 2490607 Российская Федерация, МПК G01H9/00. Способ измерения амплитуды колебаний [Текст] / В.Н. Хмельёв.

- лёв, С.В. Левин, С.С. Хмельёв, 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. Хмельёв, В.Н. Стенд для контроля параметров пьезоэлектрических колебательных систем с многополуволновыми излучателями [Текст] / В.Н. Хмельёв, С.В. Левин, С.С. Хмельёв, С.Н. Цыганок, Д.С. Абраменко // Ползуновский вестник. – 2012. – №2/1. – С. 151–154.
5. Патент 2473400 Российская Федерация, МПК В06В1/06. Ультразвуковая колебательная система [Текст] / В.Н. Хмельёв, С.В. Левин, С.С. Хмельёв, 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.

*Хмельёв Владимир Николаевич – д.т.н., профессор, заместитель директор по науке, Бийский технологический институт АлтГТУ, тел. (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.*

*Левин Сергей Викторович – ст. преподаватель каф. ТГ, Бийский технологический институт АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: lsv@bti.secna.ru.*

*Хмельёв Сергей Сергеевич - к.т.н., доцент каф. МСИА, Бийский технологический институт АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: ssh@bti.secna.ru.*