

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОПОЛУВОЛНОВЫХ РАБОЧИХ ИНСТРУМЕНТОВ

**В.Н. Хмелев, С.В. Левин, С.С. Хмелёв, С.Н. Цыганок**  
*МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», г. Бийск*

Аннотация - В статье представлены результаты исследования эффективности ультразвуковых колебательных систем с многополуволновыми излучателями, выполненными в виде стержней переменного диаметра в зависимости от формы переходов между участками различного диаметра.

*Ключевые слова* - ультразвук, ультразвуковое технологическое оборудование, ультразвуковая колебательная система.

### ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковые (УЗ) технологии на сегодняшний день получили широчайшее распространение по всему миру в различных отраслях промышленности, позволяя создавать новые и эффективно интенсифицировать известные технологические процессы [1]. Во много это стало возможным благодаря созданию и применению специализированного ультразвукового оборудования с мощностью до 8000 Вт (рис. 1) [2].



Рис. 1. Ультразвуковой технологический аппарат

Как известно, ультразвуковые технологии реализуются при помощи универсальных или специализированных ультразвуковых технологических аппаратов, в составе которых обязательно присутствуют ультразвуковая

колебательная система и ультразвуковой генератор для её питания.

Ультразвуковая колебательная система является основным узлом технологического аппарата, поскольку обеспечивает преобразование электрических колебаний в механические колебания определённой частоты и интенсивности, усиление их амплитуды до значений, способных обеспечить реализацию технологических процессов, введение колебаний в технологические среды через рабочие инструменты, отличающиеся по площади и форме излучающей поверхности (рис. 2) [3].



Рис. 2. Ультразвуковая колебательная система

В настоящее время для промышленного применения наибольшее распространение получили ультразвуковые колебательные системы, имеющие в своём составе излучатели (рабочие инструменты) в виде стержней переменного сечения с увеличенной поверхностью излучения (рис. 3) [4].



Рис. 3. Ультразвуковой излучатель

Увеличение поверхности излучения в таких инструментах обеспечивается за счет соосного и последовательного установления полуволновых по длине волноводов цилиндрической формы переменного диаметра (от 70 мм). В этом случае поверхности переходов между участками различного диаметра являются поверхностями

эффективного излучения ультразвуковых колебаний [5].

Поскольку, для обеспечения кавитационного ультразвукового воздействия требуются значительные мощности излучаемой энергии, для питания таких излучателей используются специализированные многопакетные пьезопреобразователи (рис. 4).

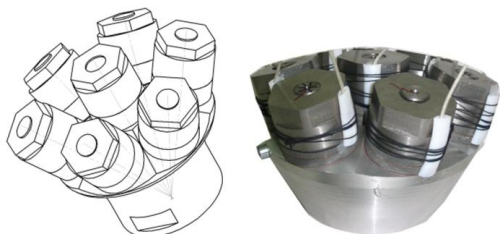


Рис. 4. Многопакетный пьезопреобразователь

Вместе с тем, излучатели могут иметь различные по форме переходы между участками различного диаметра и излучение с них может осуществляться по-разному.

Поэтому возникла необходимость исследовать излучение с различных по форме переходных областей излучения и определить оптимальную форму поверхности излучения.

При этом оптимальной принято считать поверхность излучения, при которой при одинаковой потребляемой электрической мощности генератором от промышленной сети интенсивность ультразвукового излучения и величина выводимой в воду акустической энергии будут максимальны.

#### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При проведении экспериментальных исследований использовался специально разработанный аппарат с потребляемой электрической мощностью не более 600 Вт, имеющий пьезоэлектрическую колебательную систему с двух полуволновым рабочим инструментом переменного сечения (рис. 5).



Рис. 5. Экспериментальный ультразвуковой аппарат

На первом этапе исследований использовался инструмент с переходными участками конической формы (рис. 6).

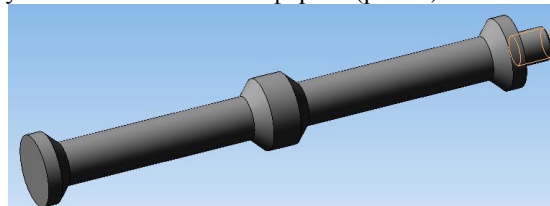


Рис. 6. Излучатель с переходом конической формы

На втором этапе исследуемый излучатель был доработан. Переходные участки были выполнены в виде радиальных переходов радиусом 6 мм (рис. 7).

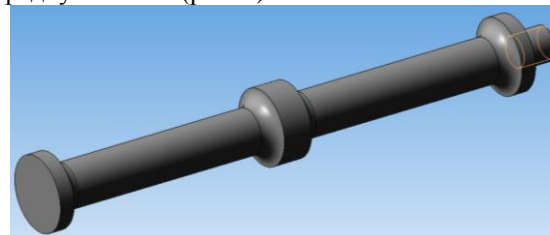


Рис. 7. Излучатель с радиальным переходом

На следующем этапе исследований радиальный переход был выполнен радиусом 3 мм (рис. 8).

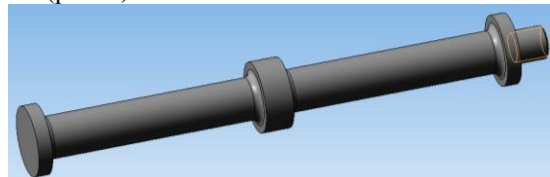


Рис. 8. Излучатель с радиальным переходом

На четвертом этапе переходная поверхность была удалена и рабочий инструмент стал представлять собой последовательно и соосно состыкованные цилиндрические элементы (рис. 9).

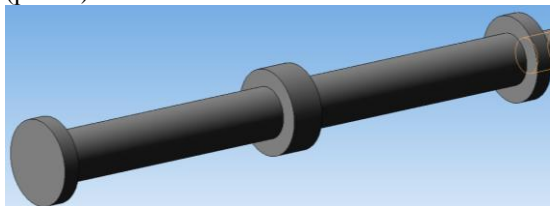
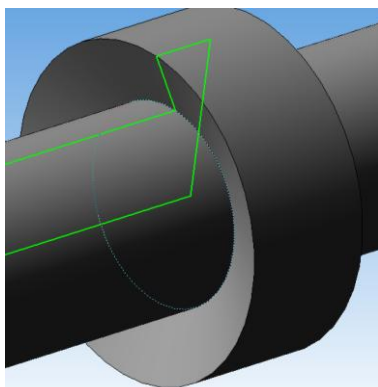


Рис. 9. Излучатель состоящий из цилиндров различного диаметра

На заключительном этапе (номер 5) исследований излучающая поверхность была выполнена в виде конической поверхности, но в отличие от первого варианта, выполнена вогнутой в цилиндрический элемент большего диаметра (рис. 10).



**Рис. 10. Излучатель с переходом конической формы**

Методика проведения исследований заключалась в кавитационном воздействии на водную среду при использовании инструментов с различной площадью  $S$  излучения при одинаковой потребляемой мощности  $P_{эл}$  и фиксирование акустических  $P_{ак}$ ,  $I$ , параметров излучения в замкнутый теплоизолированный технологический объем.

Результаты исследований представлены в табл. 1.

**Табл. 1. Результаты исследований ультразвуковых излучателей**

№	$S$	$P_{ак}, Вт$	$P_{эл}, Вт$	КПД, %	$I, Вт/см^2$
Конический	32,5	384	600	63,6	11,84
Радиальный (R=6)	33,5	353	600	57,4	10,53
Радиальный (R=3)	29,2	358	600	59,7	12,3
Цилиндрический	25,16	334	600	53,9	13,7
Конический, вогнутый	25,4	393	600	65,5	15,4

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как следует из результатов исследований, представленных в таблице при ультразвукового воздействия в режиме развитой кавитации:

- наибольшую интенсивность излучения (максимальную эффективность кавитационного воздействия) можно обеспечить за счет использования рабочих инструментов с переходными участками в виде внутренних конусных переходов (поверхность излучения вогнута в цилиндрический элемент большего диаметра) между участками различного диаметра;

- в случае применения такого инструмента, при, практически, минимальной поверхности излучения обеспечивается максимальный выход акустической энергии в обрабатываемую среду.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 196 С.

2. Ультразвуковой технологический аппарат «Булава» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.u-](http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_dlva_protocnoy_obrabotki_zhidkikh_sred/apparat_ultrazvukovoy_protocnoy_serii_bulava_p_01/)

[sonic.com/catalog/apparaty\\_dlva\\_protocnoy\\_obrabotki\\_zhidkikh\\_sred/apparat\\_ultrazvukovoy\\_protocnoy\\_serii\\_bulava\\_p\\_01/](http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_dlva_protocnoy_obrabotki_zhidkikh_sred/apparat_ultrazvukovoy_protocnoy_serii_bulava_p_01/)

3. Патент 2473400 Российская федерация, МПК B06b1/06. Ультразвуковая колебательная система [Текст] / В.Н. Хмелёв, С.Н. Цыганок, С.В. Левин, С.С. Хмелёв; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Центр ультразвуковых технологий». – № 2011133763/28, заявл. 10.08.2011; опубл. 27.01.2012.

4. Левин С.В., Хмелёв В.Н., Цыганок С.Н., Хмелёв С.С. Создание ультразвуковых колебательных систем с увеличенной поверхностью излучения. Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП-2010): материалы 7-й всероссийской научно-технической конференции. – Бийск: АЛТГТУ, 2010. – с.147-151.

5. Khmelev V.N., Levin S.V., Tsyganok S.N., Khmelev S.S. Efficiency increase of the processes by the optimization of the ultrasonic vibrating system consisting of half-wave modules of variable cross-section. XII international conference and seminar of young specialists on Micro / Nanotechnologies And Electron Devices EDM 2011, Novosibirsk, NSTU. 2011. – p.275-280.

*Хмелёв Владимир Николаевич – д.т.н., профессор, директор по науке, тел. (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.*

*Левин Сергей Викторович – зам. директора по производству, тел. (3854)432570, e-mail: lsv@bti.secna.ru.*

*Хмелёв Сергей Сергеевич – к.т.н., ведущий конструктор, тел. (3854)432570, e-mail: ssh@bti.secna.ru.*

*Цыганок Сергей Николаевич – к.т.н., директор по производству, тел. (3854) 432570, e-mail: grey@bti.secna.ru.*