

## РАЗДЕЛ 5. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И КОМПОНЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта "Создание высокотехнологичного производства по изготовлению мобильного многофункционального аппаратно-программного комплекса длительного кардиомониторирования и эргометрии" по постановлению правительства №218 от 09.04.2010 г. Исследования проводились во ФГАОУ ВПО ЮФУ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синютин, Е.С. Сравнительное исследование новых решений входных каскадов электрофизиологических мониторов [Текст] / Е.С. Синютин // Ползуновский вестник. - 2013 - №. 2 - С. 124 – 128.
2. Черемисов, П. Микроконтроллеры с низким энергопотреблением для телеметрических систем [Электронный ресурс] / П. Черемисов // ООО «Компэл» - Режим доступа: <http://www.compel.ru>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус.
3. 16-разрядные микроконтроллеры MSP430™ со сверхнизким энергопотреблением [Электронный ресурс] // Texas Instruments – Режим доступа: <http://www.ti.com/ww/ru/msp430.html>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. STM32 L1 series of ultra-low-power MCUs [Электронный ресурс] // STMicroelectronics - Режим доступа: <http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/>

- FM141/SC1169/SS1295, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. EFM32 Tiny Gecko Microcontroller Family [Электронный ресурс] // Silicon Labs – Режим доступа: <http://www.energymicro.com/products/efm32-tiny-gecko-microcontroller-family>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. англ.
  6. MSP430F543x, MSP430F541x Mixed Signal Microcontroller (Rev. C) [Электронный ресурс] // Texas Instruments – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f5438.pdf>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. англ.
  7. STM32L15xx6/8/B [Электронный ресурс] // STMicroelectronics - Режим доступа: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00277537.pdf>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. англ.
  8. EFM32TG840 Datasheet [Электронный ресурс] // Energymicro – Режим доступа: [http://cdn.energymicro.com/dl/devices/pdf/d0011\\_efm32tg840\\_datasheet.pdf](http://cdn.energymicro.com/dl/devices/pdf/d0011_efm32tg840_datasheet.pdf), свободный – Загл. с экрана. – Яз. англ.

*Начальник сектора Кириенко В.В тел.: (8634) 311-143, e-mail: [snowball@nxt.ru](mailto:snowball@nxt.ru); начальник сектора Синютин Е.С. тел.: (8634) 311-143, e-mail: [dark\\_elf4@mail.ru](mailto:dark_elf4@mail.ru) - Научно-технический центр "Техноцентр" Южного федерального университета*

УДК 534 (0.45)

## КОНТРОЛЬ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ И ПРИМЕНЕНИИ МНОГОПОЛУВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

В.Н. Хмелев, С.В. Левин, С.С. Хмелев, 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

### Актуальность

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].

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].

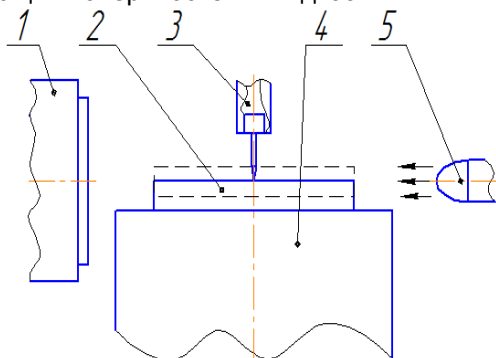
## КОНТРОЛЬ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ И ПРИМЕНЕНИИ МНОГОПОЛУВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ



Рисунок 1 - Ультразвуковые технологические аппараты с многополуволновыми излучателями

Поскольку эффективность ультразвукового воздействия определяется амплитудой колебаний излучающих поверхностей, возникает 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 объем с жидкостью; 5 – стробоскопическая система освещения

Рисунок 2 - Стенд для контроля амплитуды колебаний

Использование предложенного способа контроля амплитуды колебаний позволило установить особенности уменьшения амплитуды 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 частотнопонижающую 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 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 (рисунок 3).

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.

## РАЗДЕЛ 5. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И КОМПОНЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

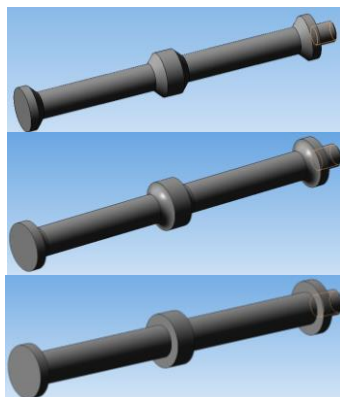


Рисунок 3 - Виды переходов многополуволновых излучателей

Таблица 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 (рисунок 4).

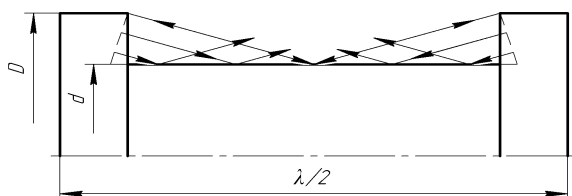


Рисунок 4 - Определение оптимального угла наклона излучающей поверхности

При этом оптимальным будет являться угол наклона излучающей поверхности к осе-

вой линии излучателя (рисунок 5), выбранный из условия:

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

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].

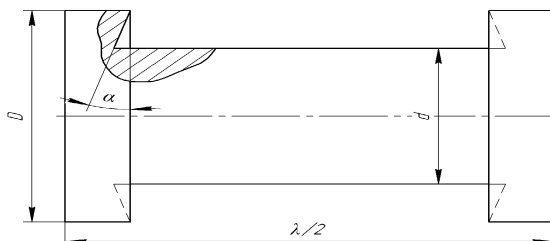
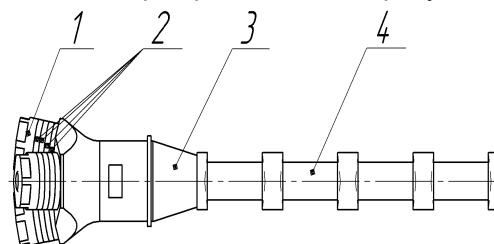


Рисунок 5 - Полуволновой модуль

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 [Текст] / В.Н. Хмелёв [и др.]. – Бийск: изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 196 С.
2. Ультразвуковой технологический аппарат «Булава» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ultrasonic.com/catalog/apparaty\\_dlya\\_protchnoy\\_obrabortki\\_zhidkikh\\_sred/apparat\\_ultrazvukovoy\\_protchnyy\\_serii\\_bulava\\_p\\_01/](http://www.ultrasonic.com/catalog/apparaty_dlya_protchnoy_obrabortki_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 [и др.] // 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».*

УДК 621.317.77

## ЦИФРОВОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ФАЗОМЕТР СИГНАЛОВ СВЧ ДИАПАЗОНА

А.А. Бардин, А.А. Орлов, Д.А. Станкевич

Описан аппаратно-программный комплекс, предназначенный для измерения угла фазового сдвига двух квазигармонических сигналов в диапазоне 35 МГц – 2,5 ГГц в режиме реального времени с относительной неопределенностью мгновенной частоты не более  $10^{-9}$  и неопределенностью угла фазового сдвига не более  $10^{-5}$  рад по выборкам не более  $10^5$  квазипериодов сигнала при глубине амплитудной и частотной модуляции до 20%.

**Ключевые слова:** мгновенная частота, угол фазового сдвига, фазометр, цифровой параметрический анализ, адаптивная фильтрация, радионавигация.

**Актуальность**

Фаза сигнала используется в большинстве радиотехнических систем в качестве информационного параметра, так как метод фазового кодирования является одним из самых помехоустойчивых [1]. Кроме того она является релятивистским инвариантом, что

делает этот параметр удобным при радиоизмерениях[2].

В настоящее время на смену аналоговым приходят цифровые фазометры, принципы работы которых основаны на измерении временных интервалов. Эти принципы не претерпели существенных изменений за последние десятилетия [3]. Улучшения точно-