

05.11.13

В.Н. Хмелев д.т.н., Р.В. Барсуков к.т.н., Е.В. Ильченко

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Россия, г. Бийск

e-mail: roman@bti.secna.ru

Пути совершенствования электронных генераторов ультразвуковых технологических аппаратов

Статья посвящена исследованию возможностей косвенного контроля характеристик акустической нагрузки (обрабатываемой среды) при ультразвуковой кавитационной обработке сред с жидкой фазой для формирования структуры и создания универсального ультразвукового технологического аппарата.

Ключевые слова: ультразвук, косвенный контроль, акустическая нагрузка, параметры.

Введение

Все более широкое применение в различных сферах деятельности человека находят ультразвуковые (УЗ) технологические аппараты, предназначенные для воздействия на твердые, жидкие и газообразные среды с целью интенсификации процессов, протекающих в них, улучшения качества создаваемого продукта, реализации новых технологий, получения материалов с уникальными свойствами и т.п.

Современный УЗ технологический аппарат конструктивно состоит из двух основных составляющих: УЗ колебательной системы (УЗКС) и УЗ электронного генератора (УЗГ).

Электронный генератор обеспечивает питание УЗКС электрическими колебаниями УЗ частоты, вырабатываемыми за счет преобразования из электрических колебаний промышленной или бытовой сети.

Поскольку в большинстве случаев УЗ колебательная система является резонансной, для эффективного преобразования электрических колебаний в механические, частота вынуждающих колебаний генератора должна соответствовать собственной (резонансной) частоте УЗКС. Поэтому на генератор возлагается задача поддержания частоты вынуждающих колебаний равной резонансной частоте УЗКС при всех возможных изменениях режимов ее работы. Эта задача решается при помощи системы автоматической подстройки частоты (АПЧ).

Второй задачей, возлагаемой на ультразвуковой генератор, является обеспечение амплитуды механических колебаний, необходимой для реализации того или иного технологического процесса. Для решения этой задачи применяются системы управления и стабилизации амплитуды механических колебаний УЗКС.

Уникальные результаты промышленного применения имеющихся УЗ аппаратов, возможность реализации процессов, не реализуемых без воздействия на процесс УЗ колебаний высокой интенсивности, позволили использовать разнообразнейшее, достаточно простое и «примитивное» по конструкции и схемотехнике УЗ оборудование, поскольку оно удовлетворяло существовавшие ранее потребности. В связи с этим незначительное внимание уделялось развитию схемотехники и структуры современных ультразвуковых технологических аппаратов (УЗТА).

Вместе с тем, современные исследования [1 – 5] в направлении совершенствования УЗТА, комплексного изучения системы «среда-излучатель-генератор», позволили выявить пути развития, совершенствования и оптимизации работы существующего ультразвукового оборудования.

В настоящее время установлено, что в системе «среда-излучатель-генератор» существует сильная взаимосвязь между свойствами и параметрами составляющих ее элементов, учет этого влияния и его оптимизация могут обеспечить работу УЗ аппаратов с максимальной эффективностью.

Проведенные исследования позволили оптимизировать структуру современного генератора за счет реализации непрерывного контроля параметров генератора, ультразвуковой колебательной системы и обрабатываемой среды с учетом влияния на них:

- процессов, реализуемых в технологических средах под воздействием ультразвуковых колебаний высокой интенсивности;
- свойств обрабатываемых технологических сред (акустической нагрузки) ;
- условий согласования электронного генератора с ультразвуковой колебательной системой при изменении свойств обрабатываемых сред;
- типа присоединяемого к ультразвуковой колебательной системе сменного рабочего инструмента.

Интеграция системы непрерывного контроля и учета влияния на реализацию процессов перечисленных выше и других факторов позволили предложить и разработать новую структуру ультразвукового генератора.

Возможности контроля эквивалентных параметров УЗКС

Поскольку любые изменения акустической нагрузки ультразвукового генератора приводят к изменению электрической нагрузки генератора, то целесообразно отслеживать изменение электрических параметров электрической нагрузки генератора, т.е. электрических параметров УЗКС.

Существующая система электромеханических аналогий [6,7], позволяет представить УЗКС в виде эквивалентной электрической схемы [8, 9].

Контроль частотных характеристик тока, протекающего через колебательную систему и напряжения на пьезокерамических элементах УЗКС, позволил получить параметры ее эквивалентной электрической схемы замещения, представленной на рис. 1.

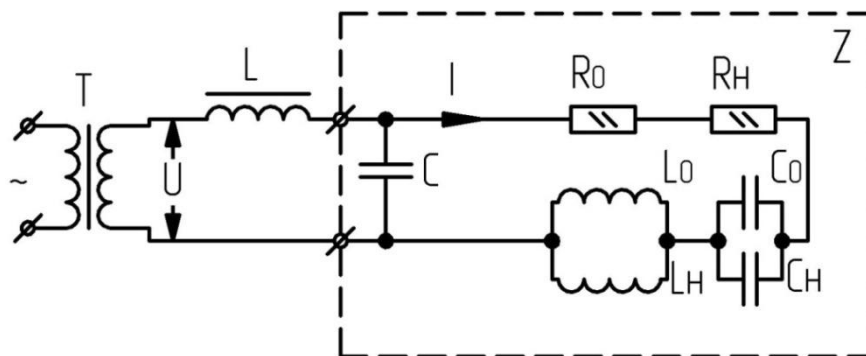


Рис. 1 – Эквивалентная электрическая схема замещения УЗКС с пьезоэлектрическим преобразователем

В рассматриваемой эквивалентной электрической схеме: индуктивность L_0 – эквивалентна колеблющейся массе, обусловленной собственными свойствами (инерционными) ультразвуковой колебательной системы, электрическая емкость C_0 – эквивалентна упругости материала, из которого изготовлена УЗКС, активное сопротивление R_0 – сопротивлению механических потерь, R_H – сопротивлению излучения колебательной системы, L_H – эквивалентна колеблющейся массе обрабатываемой жидкой

фазы, присоединенной к излучающей поверхности, емкость C_H – обусловлена наличием у обрабатываемой среды упругих свойств, C – электрическая (статическая) емкость пьезопреобразователя.

Для проведения дальнейшего анализа введем следующие параметры: $R_{ЭКВ}$ – активное сопротивление механической ветви, $L_{ЭКВ}$ – индуктивная составляющая импеданса механической ветви, $C_{ЭКВ}$ – емкостная составляющая импеданса механической ветви.

Проведенные исследования [1–5,10], показали, что наиболее перспективным направлением развития УЗТА является применение системы непрерывного контроля параметров УЗКС, поскольку она позволяет на основе косвенных измерений (без применения дополнительных датчиков) контролировать параметры УЗТА, свойств обрабатываемых сред, параметров технологических процессов.

На рис. 2, для пояснения процессов показаны зависимости индуктивной и емкостной частей импеданса механической ветви от тока механической ветви при использовании полуволновой колебательной системы с грибковым рабочим инструментом диаметром 25 мм при воздействии на различные технологические среды. Измерения проводились при использовании ультразвукового технологического аппарата Волна УЗТА 0,4/22 [11]. Следует отметить, что при изменении тока механической ветви I_m в пределах от 0,5 А до 0,8 А значения для каждой из использованных сред существенно различны, что и позволяет идентифицировать эти среды.

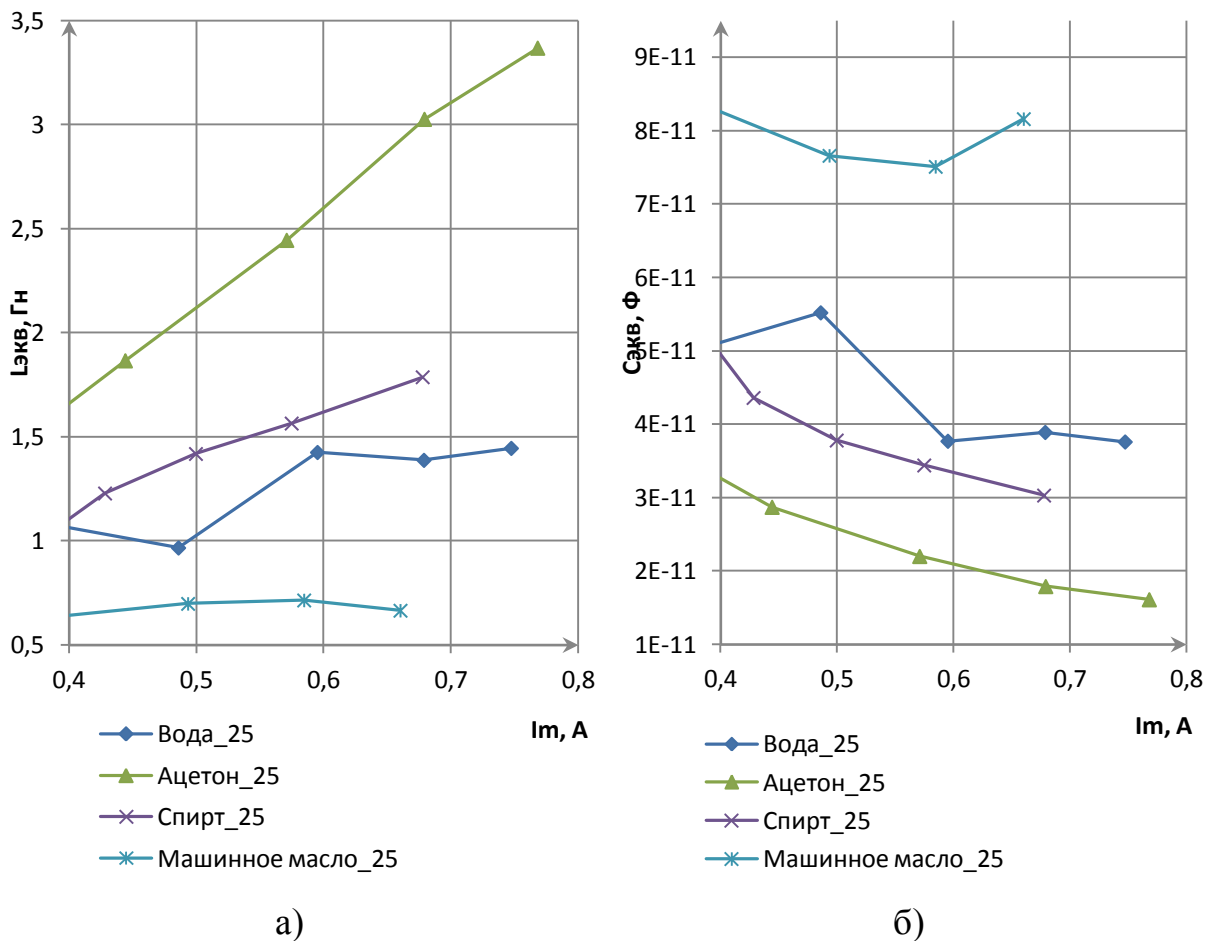


Рис. 2 – Зависимость индуктивной (а) и емкостной (б) составляющей импеданса механической ветви от тока механической ветви для инструмента диаметром 25 мм

Измерение активной части импеданса механической ветви может дать информацию об изменении параметров обрабатываемой среды, а именно о развитии кавитации в среде в случае жидких технологических сред.

Наиболее наглядно это может быть проиллюстрировано зависимостями $R_{ЭКВ}$ от тока механической ветви (рис. 3), полученными для рабочего инструмента диаметром 20 мм.

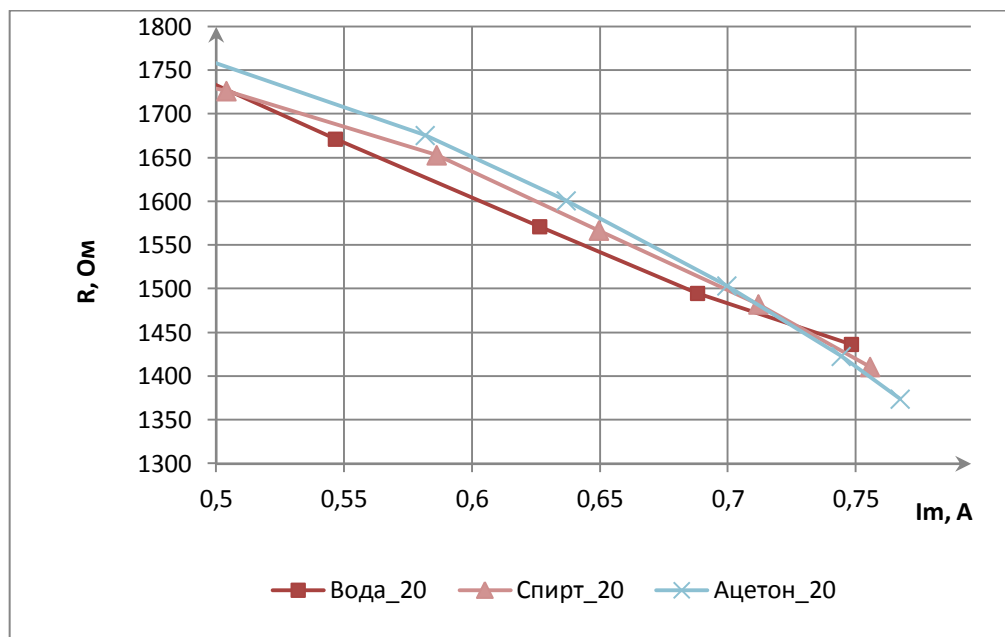


Рис. 3 – Зависимость активной составляющей импеданса механической ветви от тока механической ветви для инструмента диаметром 20 мм

Убывающий характер, представленных зависимостей, связан с развитием в жидкой среде явления кавитации по мере увеличения амплитуды механических колебаний.

При малых значениях тока механической ветви (амплитуды механических колебаний) кавитация в среде не развивается и активное сопротивление $R_{ЭКВ}$ весьма велико. Однако, с развитием кавитации происходит его уменьшение, что обуславливается изменением волнового сопротивления кавитирующей среды. Представленные на рис. 3 зависимости иллюстрируют возможность контроля процессов и явлений, протекающих в УЗ полях на примере развития процесса кавитации.

На рис. 4 представлены зависимости $R_{ЭКВ}$ от тока механической ветви, полученные для сменных рабочих инструментов диаметром 15 мм, 20 мм и 25 мм при воздействии на различные жидкие среды. В диапазоне токов 0,5 – 0,7 А представленные зависимости образуют три группы, каждая из которых соответствует определенному диаметру рабочего инструмента. В

пределах группы кривых, соответствующей диаметру 15 мм, наблюдается незначительное отличие кривых друг от друга, что обуславливается наименьшей площадью излучения и соответственно слабой связью параметров УЗКС с параметрами обрабатываемых сред. В группе кривых, соответствующих диаметру 20 мм, начинает проявляться различия в зависимостях. Существенные различия зависимостей $R_{ЭКВ}$ от тока механической ветви начинают наблюдаться для инструмента диаметром 25 мм.

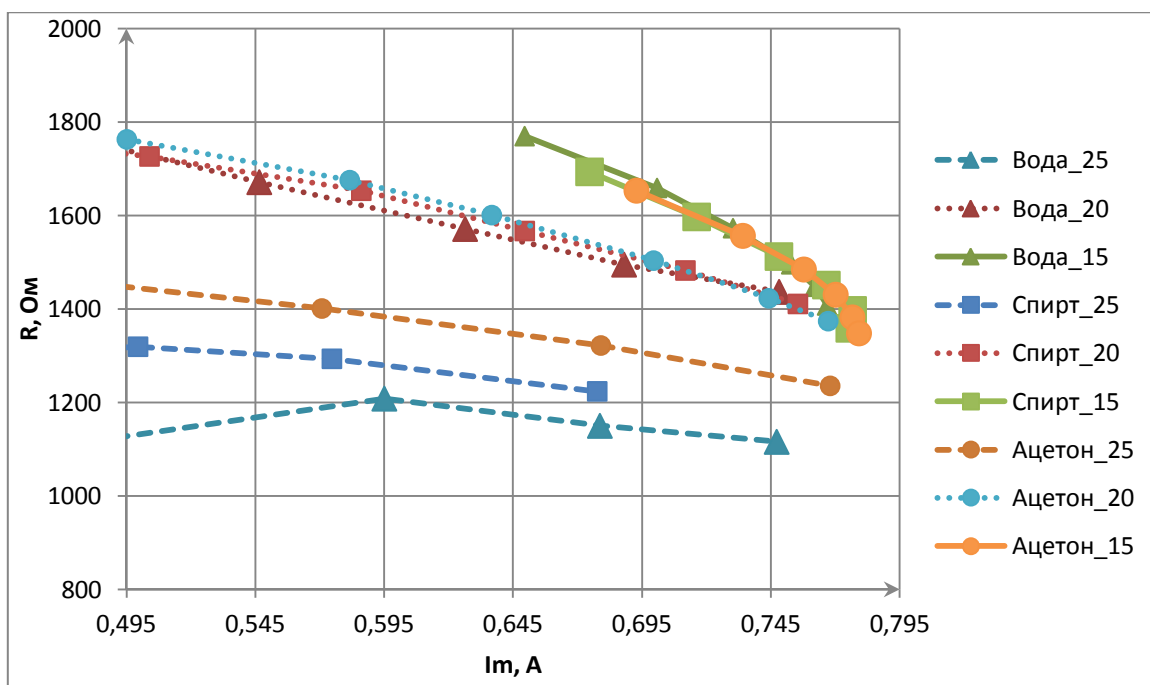


Рис. 4 – Зависимость активной составляющей импеданса механической ветви от тока механической ветви для пассивных рабочих инструментов разного диаметра

Представленные на рис. 4 результаты иллюстрируют возможность косвенного контроля типа (диаметра) присоединяемого рабочего инструмента, что делает возможным автоматизировать этот процесс.

Новая структура УЗТА

Возможность реализации непрерывного контроля [4, 10] и установленный характер зависимостей позволили предложить, разработать и интегрировать в структуру современного УЗ технологического аппарата измерительную систему, позволяющую контролировать параметры колебательной системы, электронного генератора и обрабатываемых сред, а также изменять характеристики электронного генератора для оптимизации УЗ воздействия при реализации любых технологических процессов, в различных условиях с учетом возможных влияющих факторов (температур, давлений, агрессивных химических воздействий и т.п.).

На рис. 5 представлена разработанная структурная схема ультразвукового технологического аппарата, удовлетворяющего современным потребностям.

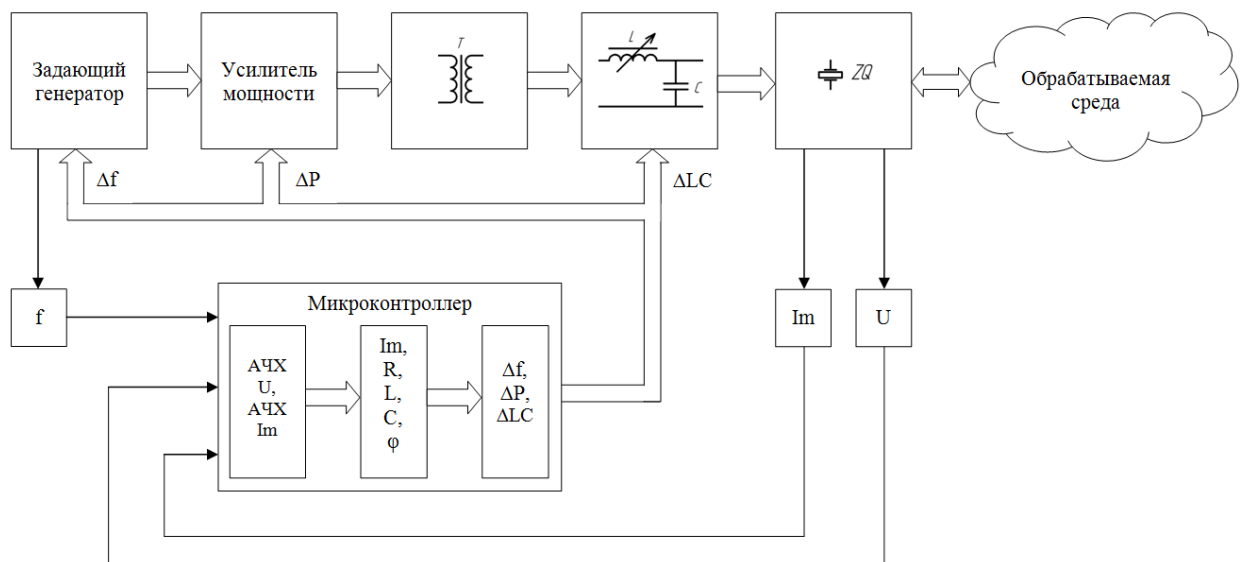


Рис. 5 – Структура разработанного УЗТА

Управляющий микроконтроллер непрерывно получает первичную измерительную информацию об электрических параметрах УЗКС в

процессе нормальной работы УЗТА в виде амплитудно-частотных характеристик тока механической ветви I_m [12] и напряжения питания УЗКС U , измеряя их с помощью соответствующих блоков, и контролируя частоту с помощью блока f . Далее производится расчет параметров RLC элементов эквивалентной электрической схемы замещения УЗКС, а также фазового сдвига φ . Анализ полученных данных позволяет выполнить расчет управляющих воздействий Δf , ΔP , ΔLC , для корректировки параметров задающего генератора, усилителя мощности и изменения параметров согласующего LC контура.

Предложенная структура УЗТА позволила создавать ультразвуковое оборудования, способное адаптировать в процессе работы свои параметры, как для оптимизации процесса преобразования электрической энергии в ультразвуковую, так и оптимизации процесса ультразвукового воздействия на процессы, протекающих в УЗ поле.

Заключение

Опыт создания УЗ технологических аппаратов для применения в различных отраслях деятельности человека показал необходимость создания «интеллектуального» оборудования, способного, с одной стороны, учитывать влияние различных дестабилизирующих процесс факторов, снижающих эффективность работы оборудования, а, с другой стороны, способного непрерывно контролировать и оптимизировать процессы, протекающие в различных технологических средах.

Предложенная концепция построения ультразвуковых технологических аппаратов позволила создать универсальное ультразвуковое оборудование и повысить эффективность ультразвукового воздействия при реализации технологических процессов и в различных условиях.

Список использованных источников

1. Хмелев, В.Н. Контроль параметров кавитирующих жидких сред, подвергаемых ультразвуковому воздействию [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Д.В. Генне, Д.С. Абраменко, Е.В. Ильченко // Ползуновский вестник. – 2012. №2/1. – с.154–159.
2. Khmelev, V.N. Method of Control Acoustic Load [Текст] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, E.V. Ilchenko // International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2011: Conference Proceedings. – Novosibirsk, NSTU, 2011. – P.236–240.
3. Khmelev, V.N. Practical Investigations of the Method of Indirect Parameter Checkout of the Acoustic Load Parameters [Текст] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, A.V. Shalunov, E.V. Ilchenko // International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2011: Conference Proceedings. – Novosibirsk, NSTU, 2011. – P.241–244.
4. Хмелев, В.Н. Система контроля свойств технологических сред, подвергаемых воздействию ультразвуковых полей высокой интенсивности [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Е.В. Ильченко // Датчики и системы. – 2013. – № 6. – С. 52 – 56.
5. Khmelev, V.N., Parameter Monitoring of Ultrasonic Apparatuses at the Application of Different Working Tool [Текст] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, E.V. Ilchenko, Y.M. Kuzovnikov // International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2013: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2013. – P.109–111.
6. Мэзон, У. Физическая Акустика [Текст] т.2. Методы и приборы ультразвуковых исследований / Под ред. У. Мэзона – М.:Мир, 1966. – 592с.

7. Джагунов Р. Г. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники систем контроля и управления [Текст] / Р.Г. Джагунов, А.А. Ерофеев – СПб.: Политехника, 1994. – 608с.
8. Донской, А.В. Ультразвуковые электротехнологические установки [Текст] / А.В. Донской, О.К. Келлер, Г.С. Кратыш. – 2-е изд., перераб. и доп.– Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 208с, ил.
9. Колесников, А.Е. Ультразвуковые измерения [Текст] / А.Е. Колесников – 2-е изд. пер. и доп.– М.: Изд-во стандартов, 1982. – 248с, ил.
10. Способ контроля свойств жидких сред [Текст] пат. 2473076 Рос. Федерация: МПК G01N29/02 / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Д.В. Генне, Д.С. Абраменко, Е.В. Ильченко заявл. 12.07.2011; опубл. 20.01.2013
11. Ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна» [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_dlya_uskoreniya_protsestov_v_zhidkikh_sredakh/ultrazvukovoy_tekhnologicheskij_apparat_serii_volna_v1/
12. Способ управления процессом ультразвуковой липосакции [Текст]: пат. 2240073 Рос. Федерация: МПК7 А61В18/00, А61В17/32 / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Шалунов А.В; заявл. 13.03.2003; опубл. 20.11.2004.

V.N. Khmelev , R.V. Barsukov, E.V. Ilchenko
Biysk Technological Institute (branch) of Altay State Technical University
after I.I. Polzunov
Biysk, Russia
e-mail: roman@bti.secna.ru

**Methods of ultrasonic technological apparatus electronic generators
improving**

The article is devoted to the researches of indirect control capabilities of ultrasonic technological apparatus acoustical load, and the design of universal ultrasonic apparatus structure.

Keywords: *ultrasound, indirect control, acoustical load, parameters*