

УДК 534.6 (045)

ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АППАРАТА

В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Е.В. Ильченко

Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова", Бийск

Статья посвящена исследованию возможностей косвенного контроля акустической нагрузки ультразвукового технологического аппарата. Показана возможность контролировать параметры технологических сред, идентифицировать тип присоединенного рабочего инструмента, а также получать сведения об изменении параметров сред в процессе ультразвукового воздействия.

Ключевые слова: ультразвуковой аппарат, нагрузка, косвенный контроль.

ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковые технологические аппараты широко используются в различных областях науки и промышленности. Традиционно ультразвук (УЗ) широко используется в процессах ультразвуковой сварки, резки, размерной обработки, а также при реализации различных процессов химической технологии, протекающих в жидких средах. К таким процессам относятся дегазация, эмульгирование, диспергирование, экстрагирование и другие. На современном этапе развития ультразвуковой техники одним из направлений ее совершенствования является применение системы контроля параметров нагрузки ультразвукового аппарата. Получение сведений о нагрузке в ходе ультразвукового воздействия даст возможность эффективно согласовывать параметры электронного генератора и текущей акустической нагрузки.

На настоящий момент времени существует большое разнообразие датчиков и измерительных устройств, при помощи которых можно контролировать свойства сред, подверженных УЗ воздействию. Однако введение дополнительных датчиков усложняет схему ультразвукового аппарата, искажает ультразвуковое поле (в случае работы на жидкую или газовую технологическую среду), снижает надежность ультразвуковой аппаратуры в целом. При реализации ряда технологических процессов (размерная обработка, УЗ сварка) введение датчиков в зону УЗ воздействия в принципе невозможно.

Проведенные исследования [1 – 6] позволили выявить возможность контроля параметров нагрузки, используя в качестве чувствительного элемента ультразвуковую колебательную систему (УЗКС).

Поскольку изменения акустической нагрузки ультразвукового генератора приводят к изменению электрической нагрузки на электронный генератор, то для контроля физических явлений, протекающих в обрабатываемой ультразвуком среде, рационально

контролировать входные электрические параметры ультразвуковой колебательной системы.

МОДЕЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ВИДЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ

Существующая система электромеханических аналогий позволяет существенно упростить анализ работы УЗКС. Рядом авторов [7, 8] были разработаны модели УЗКС в виде электрических эквивалентных схем. Контроль частотных характеристик тока, протекающего через колебательную систему и напряжения на пьезокерамических элементах УЗКС, позволил получить параметры ее эквивалентной электрической схемы замещения. На рис. 1 представлена схема замещения УЗКС с элементами согласования ее с электронным генератором, включающая согласующий трансформатор T и дроссель L . Эквивалентная схема УЗКС выделена пунктиром.

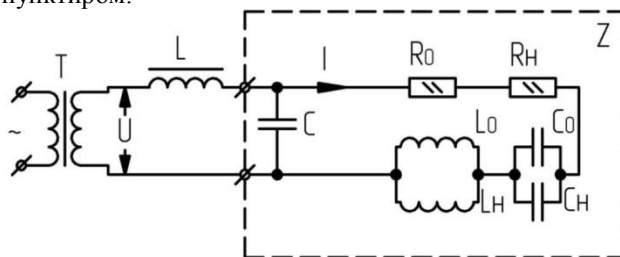


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема замещения УЗКС с пьезоэлектрическим преобразователем

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_n – сопротивлению излучения колебательной системы, L_n – 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.

В дальнейшем анализе используем следующие обозначения: $R_{ЭКВ}$ – активное сопротивление механической ветви, $L_{ЭКВ}$ – индуктивная составляющая импеданса механической ветви, $C_{ЭКВ}$ – емкостная составляющая импеданса механической ветви.

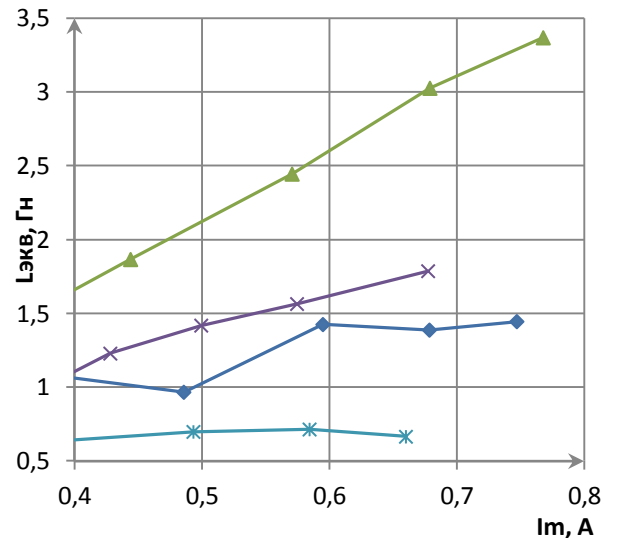
С целью выявления возможностей контроля параметров нагрузки ультразвукового аппарата была проведена серия экспериментов по измерению параметров нагрузки УЗ аппарата с использованием описанной системы аналогий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

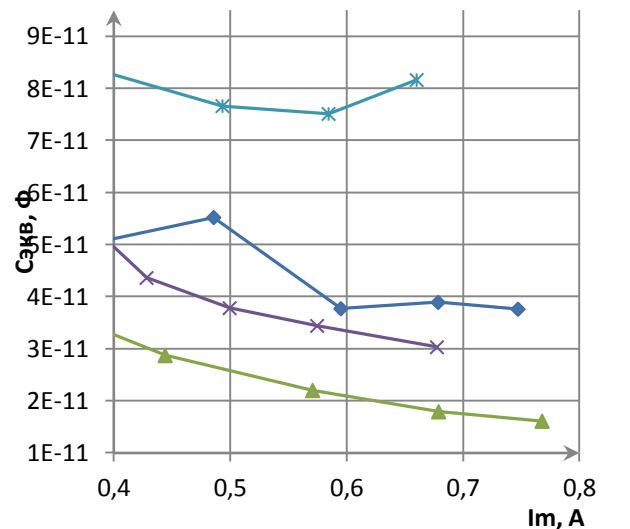
Для проведения экспериментальных исследований использовались различные УЗ технологические аппараты, технологические среды, различающиеся по своим физическим параметрам, а также различные сменные рабочие инструменты. Для расчета значений параметров схемы замещения УЗКС были получены АЧХ напряжения и тока механической ветви УЗКС при постепенном увеличении напряжения возбуждения УЗКС. Ниже приводятся результаты проведенных измерений.

Возможность контроля (идентификации) свойств обрабатываемых технологических сред, подвергаемых УЗ воздействию, обуславливается индивидуальным влиянием различных технологических сред на электрические параметры УЗКС. Экспериментальные исследования проводились при использовании ультразвукового аппарата Волна УЗТА 0,4/22, предназначенного для обработки жидких сред.

На рис. 2, показаны зависимости индуктивной и емкостной частей импеданса механической ветви от тока механической ветви при использовании полуволновой колебательной системы с грибовидным рабочим инструментом диаметром 25 мм при воздействии на различные технологические среды. Следует отметить, что при изменении тока механической ветви I_m в пределах от 0,5 А до 0,8 А значения параметров эквивалентной схемы для каждой из исследуемых сред существенно отличаются, что позволяет идентифицировать эти среды.



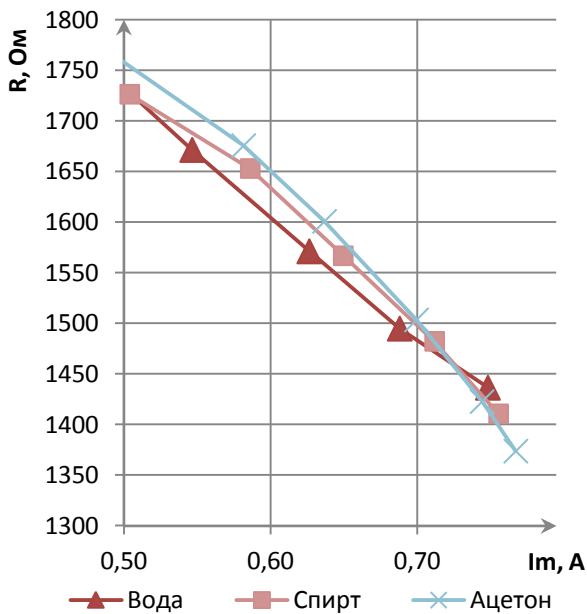
а



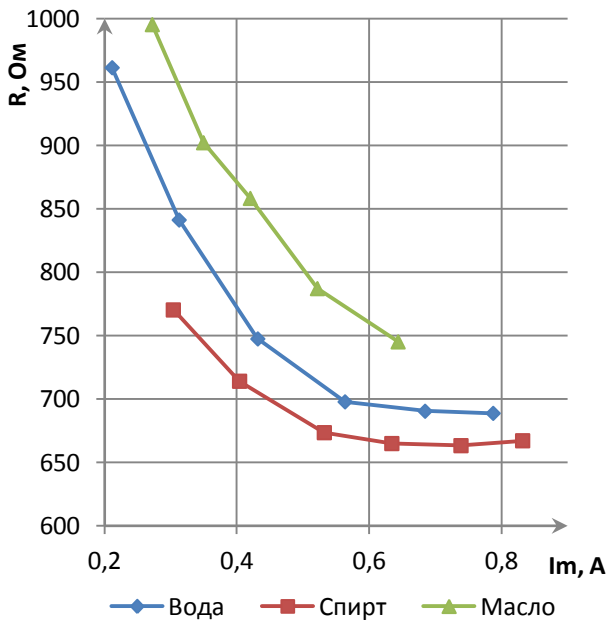
б

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

Кроме возможности идентификации различных технологических сред исследования показали возможность контроля изменения параметров обрабатываемых сред, что иллюстрируется зависимостями $R_{ЭКВ}$ от тока механической ветви (см. рис. 3). На рис. 3,а и 3,б представлены зависимости, полученные для двух различных УЗ технологических аппаратов Волна УЗТА 0,4/22 и Волна УЗТА 0,4/22-ОМ (с диаметром рабочих инструментов 20 мм), что обуславливает различие численных значений сопротивления $R_{ЭКВ}$ для рис. 3,а и 3,б.



а



б

Рис. 3. Зависимость активной составляющей импеданса механической ветви от тока механической ветви для аппарата Волна УЗТА 0,4/22 (а) и Волна 0,4/22-ОМ (б)

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

При малых значениях тока механической ветви (аналог 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, на примере развития процесса кавитации, возможность контроля процессов и явлений, протекающих в УЗ полях.

Полученные экспериментальные данные показали возможность определения типа присоединенного рабочего инструмента к УЗКС, отличающихся друг от друга площадью излучающей поверхности.

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.

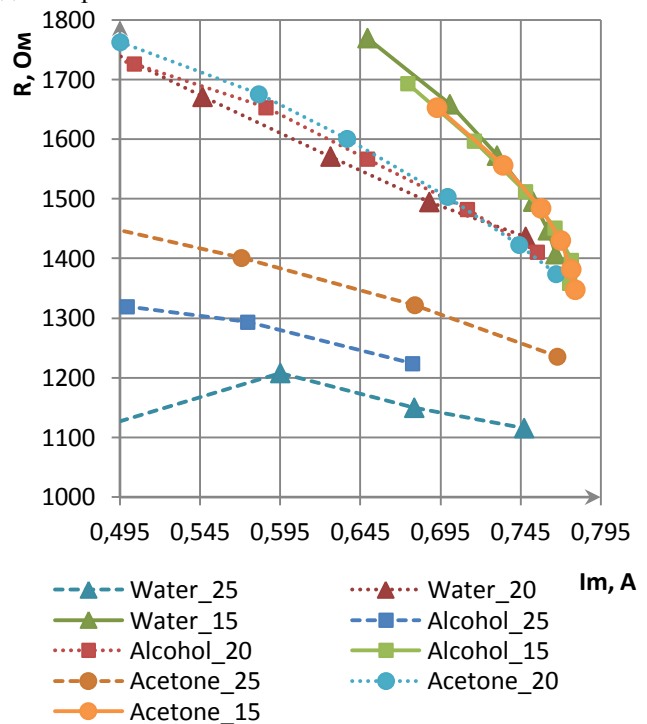


Рис. 4. Зависимость активной составляющей импеданса механической ветви от тока механической ветви для рабочих инструментов разного диаметра

Представленные на рис. 4 результаты иллюстрируют возможность косвенного контроля типа (диаметра) присоединяемого к УЗКС рабочего инструмента, что дает возможность автоматизировать процесс определения типа присоединяемого рабочего инструмента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтвердили возможность контроля акустической нагрузки ультразвукового технологического аппарата при использовании в качестве чувствительного элемента ультразвуковой колебательной системы. Предлагаемый способ позволяет:

осуществлять контроль процессов, протекающих в технологических средах по действием ультразвуковых полей высокой интенсивности;

идентифицировать технологические среды, акустический импеданс которых отличается друг от друга;

идентифицировать тип присоединяемого к УЗКС сменного рабочего инструмента, при условии, что различные инструменты имеют разную площадь излучения.

Все, выше перечисленные, возможности рассматриваемого способа контроля создают предпосылки для создания УЗ технологического аппарата способного адаптироваться к изменению акустической нагрузки, т.е. создания более эффективного ультразвукового оборудования.

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 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

7 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.

8 Колесников, А.Е. Ультразвуковые измерения [Текст] / А.Е. Колесников – 2-е изд. пер. и доп.– М.: Изд-во стандартов, 1982. – 248с, ил.

Хмелев Владимир Николаевич – д.т.н., профессор кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел.(3854)432580, e-mail: vnh@bti.secna.ru

Барсуков Роман Владиславович – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел.(3854)432570, e-mail: roman@bti.secna.ru

Ильченко Евгений Владимирович – аспирант кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел.(3854)432570, e-mail: iev@bti.secna.ru