

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

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 влияния температурного воздействия на ультразвуковой излучатель. Ультразвуковая колебательная система рассматривается как чувствительный элемент системы оперативного контроля свойств обрабатываемой среды. Для анализа влияния среды на ультразвуковую колебательную систему используется система электромеханических аналогий. В статье приводятся полученные результаты экспериментальных исследований, показывается влияние температурного фактора на ультразвуковые колебательные системы.

Ключевые слова: ультразвук, колебательная система, косвенные измерения, контроль температуры.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ультразвук широко применяется в разных областях науки и промышленности. Для создания ультразвукового поля в технологической среде используются ультразвуковые технологические аппараты.

Ультразвуковой технологический аппарат состоит из двух основных узлов: электронного генератора колебаний ультразвуковой частоты и ультразвуковой колебательной системы. Электронный генератор, предназначен для преобразования электрической энергии промышленной или бытовой сети в электрические колебания ультразвуковой частоты. Ультразвуковая колебательная система предназначена для преобразования энергии электрических колебаний в механические колебания соответствующей частоты.

Обрабатываемая технологическая среда является акустической нагрузкой ультразвукового технологического аппарата. Поскольку ультразвуковые колебательные системы (УЗКС) непосредственно контактируют с обрабатываемыми средами, параметры УЗКС могут изменяться в связи с изменением свойств сред. Таким образом, контролируя параметры УЗКС можно получить представление об изменении свойств акустической нагрузки. Косвенный контроль параметров акустической нагрузки позволит поддерживать оптимальные параметры передачи энергии в обрабатываемую среду, а также контролировать ход технологического процесса, интенсифицируемого посредством ультразвукового поля.

Однако кроме параметров акустической нагрузки на свойства ультразвуковой колебательной системы определенной влияние оказывает температура. Исследование влияния температуры позволит более точно отслеживать течение технологического процесса,

применяя в качестве датчика ультразвуковую колебательную систему.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ УЗКС

К нагреву УЗКС приводят следующие факторы:

- внутреннее трение в материале пьезокерамики и материале волноводной системы;
- протекание через пьезоэлектрический преобразователь переменного тока;
- нагрев обрабатываемой технологической среды.

При работе ультразвуковых излучателей в среде с высокой температурой из-за нагрева отдельных элементов УЗКС ее параметры изменяются (происходит изменение резонансной частоты нагретых элементов, изменяется резонансная частота УЗКС в целом, нарушаются условия согласования УЗКС с электронным генератором).

Ультразвуковые излучатели эффективно работают только в резонансном режиме, то есть на резонансной частоте излучателя [1]. Для максимально эффективного преобразования энергии электрической сети в энергию механических колебаний ультразвуковой частоты, должны быть выполнены условия согласования электронного генератора и нагрузки.

УЗКС на резонансной частоте представляет собой активно-емкостную нагрузку. Типовая схема согласования электронного генератора с УЗКС представлена на рис. 1.

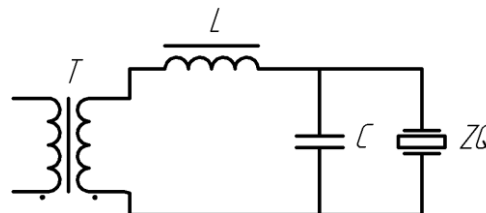


Рис.1. Схема согласования УЗКС с выходом электронного генератора

Согласование УЗКС с выходным каскадом электронного генератора осуществляется при помощи высокочастотного трансформатора (Т) и компенсационной индуктивности (L), включенной последовательно с пьезоэлектрическим преобразователем (ZQ).

В процессе эксплуатации ультразвукового генератора, температура пьезоэлектрического преобразователя изменяется и как следствие изменяется статическая емкость пьезопреобразователя, вызывая рассогласование в системе «ультразвуковой генератор – УЗКС». Для уменьшения влияния изменений собственной емкости пьезоэлементов в схему электронного генератора вносят добавочную емкость С, включаемую параллельно пьезоэлементу ZQ.

Для анализа работы ультразвуковой колебательной системы зачастую используется метод электро-механических аналогий.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ УЗКС

Пьезоэлектрический преобразователь трансформирует энергию электрических колебаний в энергию механических колебаний. Система электромеханических аналогий позволяет рассматривать такое преобразование энергии как включение дополнительной комплексной нагрузки в электрическую цепь. Поэтому ток, протекающий через пьезоэлектрический преобразователь, будет обусловлен двумя составляющими: током механической ветви и током электрической ветви. На рис. 2 представлена эквивалентная схема пьезоэлектрического преобразователя.

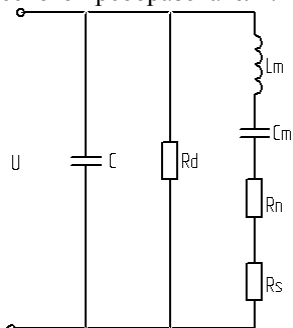


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема замещения УЗКС с пьезоэлектрическим преобразователем

Электрическая ветвь включает статическую емкость пьезокерамического преобразователя С и сопротивление диэлектрических потерь Rd.

Механическая ветвь содержит последовательно соединенные индуктивные, емкостные и активные элементы, определяемые свойствами обрабатываемой среды. Согласно существующим представлениям [2] индуктивность L_M эквивалентна колеблющейся массе преобразователя, емкость C_M – гибкости, активное сопротивление включает два слагаемых: R_{Π} – соответствующее сопротивление механических потерь; R_S – соответствующее сопротивление излучению.

Влияние температуры на ультразвуковую колебательную систему можно проиллюстрировать изменением АЧХ тока механической ветви УЗКС. Представ-

ленные данные получены при нагреве дискового ультразвукового излучателя аппарата серии Соловей [3].

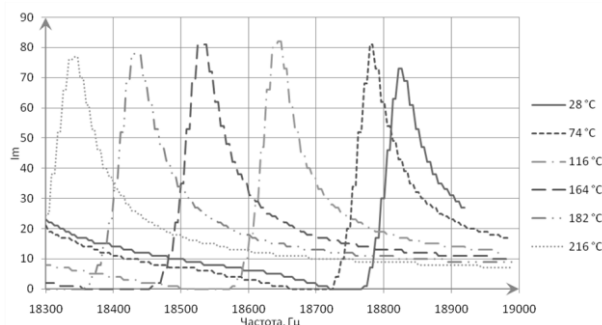


Рис. 3. Кривые АЧХ тока механической ветви, полученные при различной температуре

Частотные характеристики, представленные на рис. 3, показывают, что с изменением (увеличением) температуры происходит смещение амплитудно-частотных характеристик УЗКС вниз по частоте, меняется амплитуда колебаний на резонансной частоте.

Нагрев материала УЗКС влияет на скорость распространения в нем звуковых колебаний, что обуславливает изменение параметров УЗКС, в частности ее резонансной частоты.

При росте температуры увеличивается коэффициент затухания ультразвуковых колебаний в структуре металла. Коэффициент затухания ультразвуковой волны в материале складывается из коэффициентов поглощения и рассеяния. Увеличение коэффициента поглощения связано с увеличением среднего размера зерен металла [4].

Для проведения измерений параметров жидких сред, подверженных ультразвуковому воздействию, был использован измерительный стенд, структура которого представлена на рис. 4.

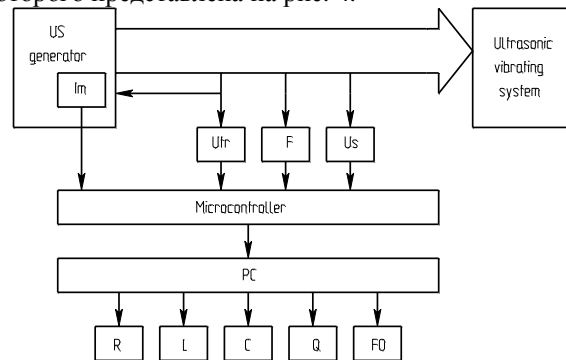


Рис. 4. Структурная схема измерительного стенда

Конструктивно стенд состоит из модуля выделения тока механической ветви I_m [5], F – канала измерения частоты, Utr – канала измерения напряжения на вторичной обмотке трансформатора Т (рис. 1), U_s – канала измерения напряжения на УЗКС.

Для задачи косвенного контроля свойств обрабатываемых сред наибольший интерес представляет исследование влияние температуры на параметры

ультра звуковых колебательных систем. На рис. 5 представлена модель УЗКС в виде физической эквивалентной схемы, а именно последовательного колебательного электрического контура, где электрические элементы обусловлены собственными свойствами ультразвуковой колебательной системы, влиянием температуры и акустической нагрузкой.

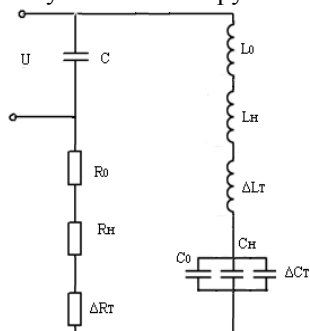


Рис. 5. Модель УЗКС в виде физической эквивалентной схемы с учетом нагрева УЗКС

На рис. 5 C – статическая емкость пьезокерамики; L_0 – индуктивность УЗКС; C_0 – емкость УЗКС; R_0 – активное сопротивление УЗКС; L_n – индуктивность акустической нагрузки; C_n – емкость акустической нагрузки; R_n – активное сопротивление акустической нагрузки; ΔL_T – добавочная индуктивность, вызванная нагревом УЗКС; ΔC_T – добавочная емкость, вызванная нагревом УЗКС; ΔR_T – добавочная емкость, вызванная нагревом УЗКС.

На рис. 6 – 8 представлены температурные зависимости RLC параметров схемы замещения ультразвуковой колебательной системы, при работе в режиме холостого хода. Кривые получены для двух типов рабочих инструментов. «Тип 1» – грибовидное окончание диаметром 20мм.

«Тип 2» – полуволновой инструмент, диаметр рабочего окончания 15 мм.

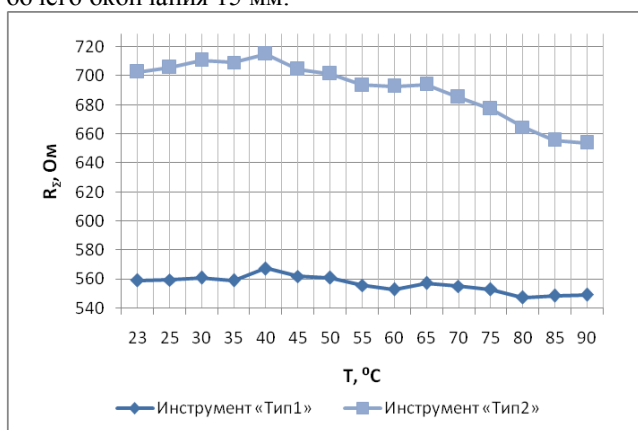


Рис. 6. Зависимость активной составляющей импеданса механической ветви от температуры

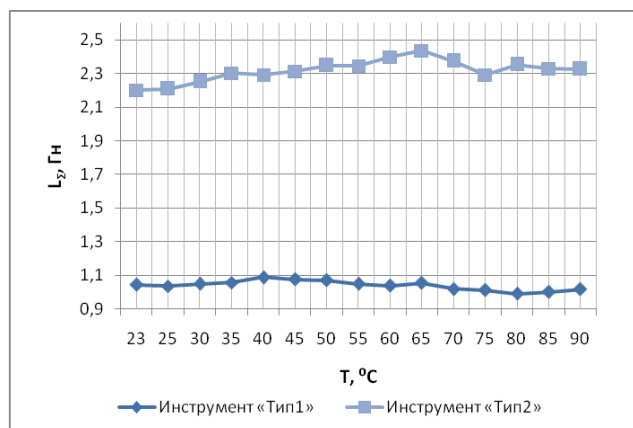


Рис. 7. Зависимость индуктивности механической ветви от температуры

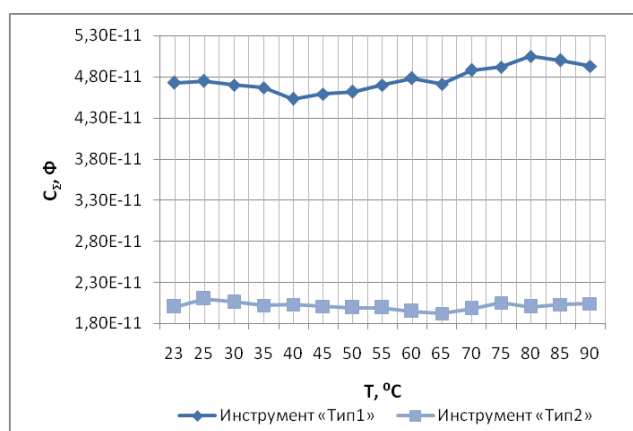


Рис. 8. Зависимость емкости механической ветви от температуры

Из графиков видно, что различные инструменты сильно влияют на величины собственных RLC параметров УЗКС, и определяют различный характер их изменения от температуры.

На рис. 9 – 11 представлены температурные зависимости RLC параметров схемы замещения ультразвуковых колебательных систем, обусловленных нагрузкой. Кривые получены в процессе нагрева водной среды. Использовался рабочий инструмент «Тип 2».

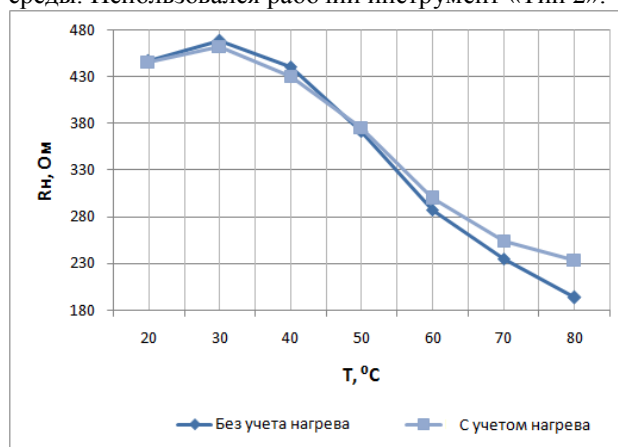


Рис. 9. Зависимость активной составляющей импеданса механической ветви от температуры

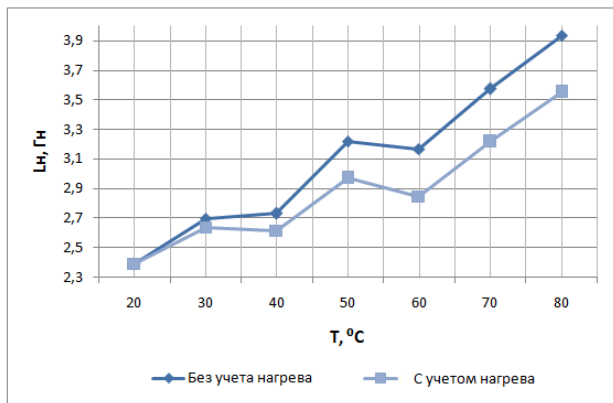


Рис. 10. Зависимость индуктивной составляющей импеданса механической ветви от температуры

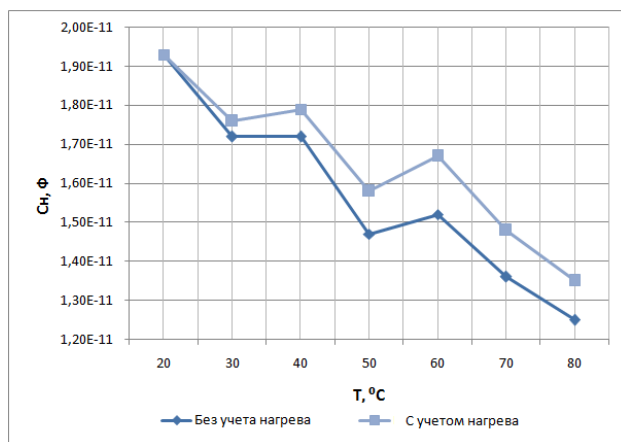


Рис. 11. Зависимость емкостной составляющей импеданса механической ветви от температуры

На графиках показаны зависимости RLC параметров обусловленных нагрузкой с учетом и без учета нагрева УЗКС. Кривые иллюстрируют наличие влияния температуры УЗКС на точность оценки RLC параметров, обусловленных нагрузкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные измерения позволили выявить влияние температуры на параметры ультразвуковых колебательных систем. Были получены зависимости различных составляющих импеданса механической ветви от температуры. Характер этих зависимостей является сложным и определяется параметрами УЗ колебательных систем, свойствами обрабатываемых сред.

Следует отметить, что полученные результаты справедливы только для исследованной ультразвуковой колебательной системы, и для каждой конкретной ультразвуковой колебательной системы влияние температуры будет индивидуально.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хмелев, В.Н. Особенности проектирования электронных генераторов для излучателей, предназначенных для воздействия на газовые среды [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, А.В. Шалунов, Д.С. Абраменко, Д.В. Генне, А.Д. Абрамов // Известия томского политехнического университета. – 2010. - Т. 316. №4

2. Донской, А.В. Ультразвуковые электротехнологические установки – 2-е изд., перераб. и доп.– Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 208с, ил.

3. Ультразвуковой аппарат серии «Соловей» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_dlya_uskoreniya_protsestov_v_gazovykh_sredakh/ultrazvukovoy_apparat_serii_solovey/

4. Влияние температуры на металл [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.inmetal.ru/156-vliyanie-temperatury-na-metall.html>

5. Патент 2240073 Российская Федерация. Способ управления процессом ультразвуковой липосакции / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Шалунов А.В.; заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – №2003107030

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