

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

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

Бийский технологический институт (филиал АлтГТУ)
г. Бийск

Статья посвящена исследованию влияния температуры обрабатываемых сред на работу системы контроля, используемой в составе ультразвуковых технологических аппаратов. Ультразвуковая колебательная система, являющаяся источником излучения, рассматривается как чувствительный элемент системы косвенного контроля свойств обрабатываемых сред (характера акустической нагрузки). Влияния среды на ультразвуковую колебательную систему исследуется на основе анализа системы электромеханических аналогий. В статье представлены результаты экспериментальных исследований, позволяющих учитывать влияние температуры на ультразвуковые колебательные системы при эксплуатации технологических аппаратов.

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 различных технологических средах используются ультразвуковые технологические аппараты.

Ультразвуковой технологический аппарат состоит из двух основных узлов: электронного генератора колебаний ультразвуковой частоты и ультразвуковой колебательной системы. Электронные генераторы обеспечивают не только преобразование электрической энергии промышленной или бытовой сети в электрические колебания ультразвуковой частоты для питания ультразвуковых колебательных систем (УЗКС), но и оптимизацию условий передачи энергии от колебательных систем в обрабатываемые среды. Ультразвуковая колебательная система предназначена для преобразования энергии электрических колебаний в механические колебания соответствующей частоты.

Обрабатываемая технологическая среда является акустической нагрузкой ультразвукового технологического аппарата. Поскольку УЗКС непосредственно контактируют с обрабатываемыми средами, параметры УЗКС могут изменяться в связи с изменением свойств обрабатываемых сред. Таким образом, контролируя изменения параметров УЗКС можно получать представление об изменении свойств акустической нагрузки.

Косвенный контроль параметров акустической нагрузки позволит оптимизировать энергетическое воздействие на различные по свойствам и изменяющиеся в процессе обработки технологические среды, а также контролировать ход технологического процесса, интенсифицируемого посредством ультразвукового воздействия. Таким образом, для обеспечения эффективности ультразвукового воздействия на различные технологические среды требуется контролировать их параметры.

Наряду с параметрами акустической нагрузки на свойства ультразвуковой колебательной системы определенное влияние оказывает температура. Исследование влияния температуры на параметры УЗКС позволит более точно контролировать ход технологического процесса, протекающего в УЗ поле, используя в качестве чувствительного элемента ультразвуковую колебательную систему.

Необходимость контроля влияния температуры обусловлена еще и тем, что чрезмерный нагрев пьезокерамического преобразователя УЗКС может привести к его разрушению и выходу из строя колебательной системы.

Таким образом, контроль температуры УЗКС является актуальной задачей.

Влияние температуры на параметры УЗКС

К нагреву УЗКС приводит целый ряд факторов:

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

- 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 рисунке 1.

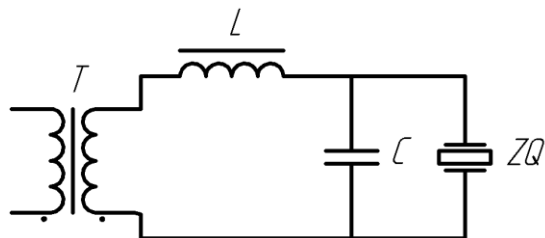


Рисунок 1 – Схема согласования УЗКС с выходом электронного генератора

Согласование УЗКС с выходным каскадом электронного генератора осуществляется при помощи высокочастотного трансформатора (T) 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 C , которая включается параллельно пьезоэлементу ZQ .

Для анализа работы ультразвуковой колебательной системы зачастую используется метод электромеханических 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 рисунке 2 представлена эквивалентная схема пьезоэлектрического преобразователя.

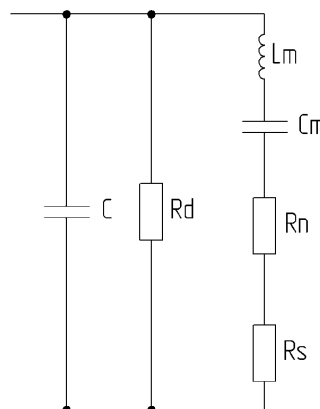


Рисунок 2 – Эквивалентная электрическая схема замещения УЗКС с пьезоэлектрическим преобразователем

Электрическая ветвь включает статическую емкость пьезокерамического преобразователя C и сопротивление диэлектрических потерь R_d .

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_n – соответствующее сопротивлению механических потерь; R_s – соответствующее сопротивлению излучения.

При реализации различных УЗ технологий, при работе в различных технологических средах, УЗКС могут работать в различных тепловых режимах, что оказывает влияние на параметры колебательных систем.

В случае, когда акустической нагрузкой УЗКС является воздушно-газовая среда, основной причиной нагрева УЗКС является внутреннее трение в материале пьезокерамики, волноводного звена и нагрев, обусловленный диэлектрическими потерями в пьезокерамике. При работе в воздушно-газовых средах нагрев УЗКС происходит даже при небольшой потребляемой мощности ультразвукового аппарата, что связано с низкой теплопроводностью воздушно-газовых сред.

В случае если акустической нагрузкой УЗКС является жидкая или жидкодисперсная среда происходит ее более эффективное охлаждение. Однако, с развитием в жидкой среде кавитационных явлений, выход акустической энергии в среду уменьшается, что может приводить к дополнительному нагреву УЗКС.

При УЗ сварке и размерной обработке твердых материалов параметры акустической нагрузки изменяются более динамично, могут чередоваться режимы холостого хода (работы на воздушную среду) и работы с акустической нагрузкой.

Влияние температуры на ультразвуковую колебательную систему, например можно проиллюстрировать изменением АЧХ тока механической ветви УЗКС. Представленные данные получены при нагреве дискового ультразвукового излучателя аппарата серии Соловей [3].

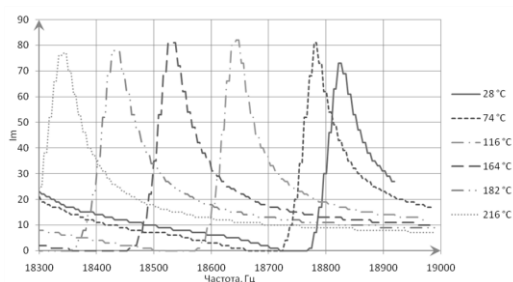


Рисунок 3 – Кривые АЧХ тока механической ветви, полученные при различной температуре

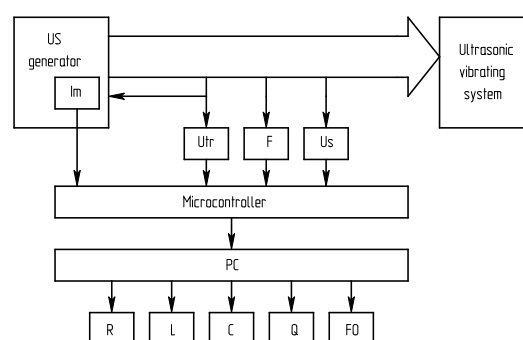
Частотные характеристики, представленные на рисунке. 3, показывают, что с изменением (увеличением) температуры происходит смещение амплитудно-частотных характеристик УЗКС вниз по частоте, меняется амплитуда колебаний на резонансной частоте.

Нагрев материала УЗКС влияет на скорость распространения в нем звуковых колебаний, что обуславливает изменение пара-

метров 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 рисунке 4.



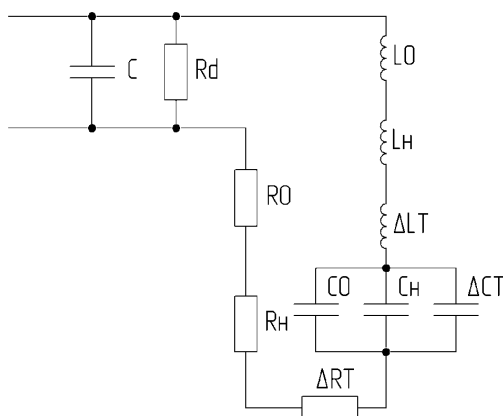
Условные обозначения:

Im – модуль выделения тока механической ветви [5], F – канал измерения частоты, Utr – канал измерения напряжения на вторичной обмотке трансформатора Т (рисунок 1), Us – канал измерения напряжения на УЗКС

Рисунок 4 – Структурная схема измерительного стенда

Для решения задачи косвенного контроля свойств обрабатываемых сред наибольший интерес представляет исследование воздействия температуры на параметры ультразвуковых колебательных систем. На рисунке 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.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ



Условные обозначения:

C – статическая емкость пьезокерамики; L_0 – индуктивность УЗКС; C_0 – емкость УЗКС; R_0 – активное сопротивление УЗКС; L_H – индуктивность акустической нагрузки; C_H – емкость акустической нагрузки; R_H – активное сопротивление акустической нагрузки; ΔL_T – добавочная индуктивность, вызванная нагревом УЗКС; ΔC_T – добавочная емкость, вызванная нагревом УЗКС; ΔR_T – добавочное активное сопротивление, вызванное нагревом УЗКС

Рисунок 5 – Модель УЗКС в виде физической эквивалентной схемы с учетом нагрева УЗКС

На рисунках 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.

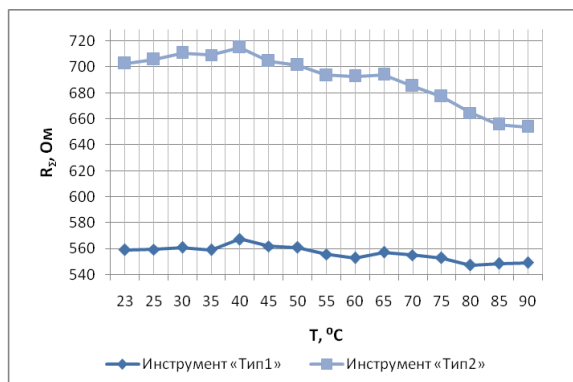


Рисунок 6 – Зависимость активной составляющей импеданса механической ветви от температуры

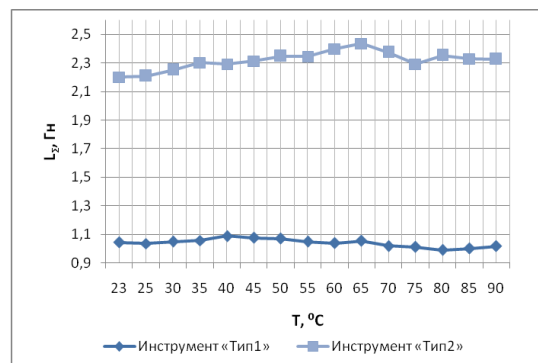


Рисунок 7 – Зависимость индуктивности механической ветви от температуры

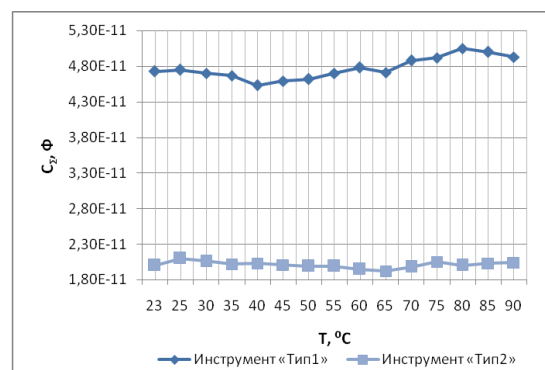


Рисунок 8 – Зависимость емкости механической ветви от температуры

На представленных выше графиках под R_Σ , L_Σ , C_Σ понимаются:

$$R_\Sigma = R_0 + R_H + \Delta R_T,$$

$$C_\Sigma = C_0 + C_H + \Delta C_T,$$

$$L_\Sigma = L_0 + L_H + \Delta L_T.$$

Из графиков следует, что различные инструменты по разному влияют на изменения значений собственных RLC параметров УЗКС.

На рисунках 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».

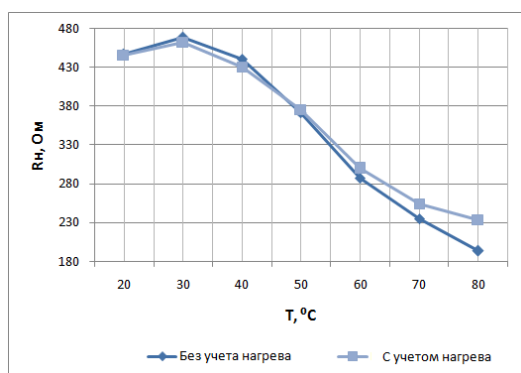


Рисунок 9 – Зависимость активной составляющей импеданса механической ветви от температуры

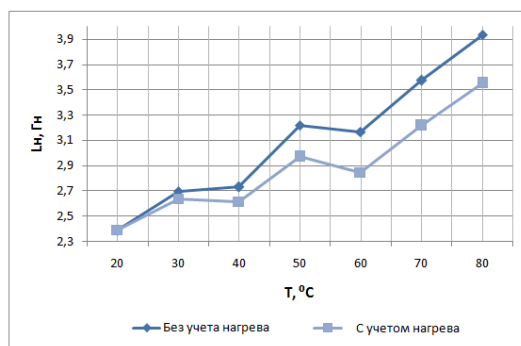


Рисунок 10 – Зависимость индуктивной составляющей импеданса механической ветви от температуры

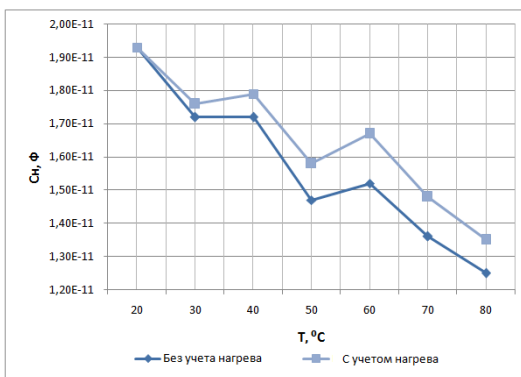


Рисунок 11 – Зависимость емкостной составляющей импеданса механической ветви от температуры

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 исследования позволили выявить характер влияния температуры на параметры ультразвуковых колебательных систем. Полученные зависимости различных составляющих импеданса механической ветви от температуры свидетельствуют о том, что характер этих зависимостей определяется параметрами УЗ колебательных систем и свойствами обрабатываемых сред.

Поскольку полученные результаты справедливы только для исследуемой ультразвуковой колебательной системы, возникает необходимость при создании и применении каждой конкретной ультразвуковой колебательной системы учитывать влияние температуры индивидуально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 электро-технологические 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.usonic.com/catalog/apparaty_dlya_uskoreniya_protsesov_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, тел.(3854)432580, e-mail: vnkh@bti.secna.ru; **Барсуков Роман Владиславович** – к.т.н., доцент, тел.(3854)432570, e-mail: roman@bti.secna.ru; **Ильченко Евгений Владимирович** – аспирант, тел.(3854)432570, e-mail: iev@bti.secna.ru; **Генне Дмитрий Владимирович** – ст. преподаватель, тел.(3854)432570, e-mail: gdrv@bti.secna.ru.