

УДК: 621.78.062 (045)

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ДИСКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

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

Статья посвящена исследованию влияния повышенной температуры на дисковый ультразвуковой излучатель. Обсуждается специфика конструирования и настройки ультразвукового оборудования, предназначенного для работы при повышенных температурах. Рассматриваются особенности используемой системы согласования электронного генератора и ультразвуковой колебательной системы, приводятся полученные экспериментальные данные, схемы и характеристики разработанного оборудования.

Ключевые слова: ультразвуковой излучатель, температура, система согласования, резонансная частота.

Введение

Ультразвуковые аппараты применяются при интенсификации технологических процессов, протекающих в различных средах.

Широкое применение находят ультразвуковые аппараты, предназначенные для работы в газовых средах.

Так, например, излучение ультразвуковых колебаний в камерах хлебопекарных печей позволяет увеличить скорость выпечки на 25 – 30% [1], снизив температуру выпечки на 20%, что обуславливает существенное сокращение энергозатрат.

К числу процессов, интенсифицируемых ультразвуковыми колебаниями в газовой среде, относят процессы горения, газификации твердых топлив [2], пеногашения [3], акустической сушки [4], процессы массообмена, коагуляции аэрозолей [5], очистки топочных газов [6]. При их интенсификации температура технологической среды, в которой реализуется процесс, может превышать 200 °С. Протекание технологических процессов при повышенной температуре обуславливает определенную специфику применяемого ультразвукового оборудования и его эксплуатации.

Постановка задачи

Эффективность применения ультразвуковых колебаний при реализации различных технологических процессов в газовых средах при высокой температуре обуславливает необходимость создания ультразвукового аппарата с излучателем, способным работать при повышенных температурах (в камерах хлебопекарных печей, камерах коагуляции, газификаторах и т.п.).

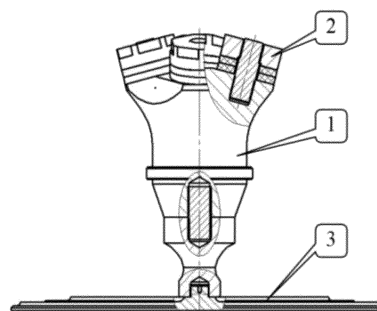
Основная задача, которая ставится перед разработчиками ультразвукового оборудования – обеспечение уровня звукового давления не менее 140 дБ (при меньших интенсивностях ультразвукового поля эффек-

тивность применения ультразвука для интенсификации процессов в газовой среде падает практически до нуля) при температуре окружающей среды в озвучиваемом объеме 150 – 200 °С.

Создание и применение подобного оборудования требует решения не только проблем конструирования, но и исследования влияния высокотемпературного воздействия на параметры излучения.

Конструктивные особенности ультразвуковой колебательной системы

Для создания ультразвуковых колебаний в газовых средах применяют изгибно-колеблющиеся излучатели дискового типа. Эскиз такого излучателя представлен на рисунке 1.



1 – стержневой волновод; 2 – пьезоэлектрический преобразователь; 3 – дисковый излучатель.

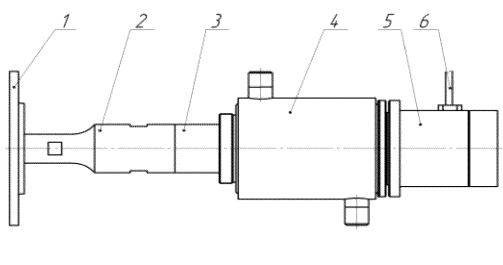
Рисунок 1 – Эскиз излучателя

Использование излучателей подобного типа в газовых средах при повышенной температуре (до 200 °С) недопустимо, поскольку при достижении пьезокерамическими элементами температуры, близкой к точке Кюри, происходит снижение КПД преобразователя, частичная или полная потеря свойств пьезокерамических элементов.

Для обеспечения оптимального температурного режима работы ультразвуковой

РАЗДЕЛ 3. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

колебательной системы (УЗКС) в конструкции колебательной системы был предусмотрен дополнительный (промежуточный) отрезок волновода с рубашкой для жидкостного охлаждения. Эскиз разработанной УЗКС представлен на рисунке 2.



1 – дисковый излучатель; 2 – концентратор; 3 – бустер; 4 – охлаждающий объем (теплообменник); 5 – корпус пьезоэлектрического преобразователя; 6 – кабель питания ультразвуковой колебательной системы.

Рисунок 2 – Эскиз разработанной УЗКС

Применение подобной тепловой отсечки позволило обеспечить температуру пьезоэлектрических элементов УЗКС не более 60°C, при температуре в озвучиваемой камере 200°C.

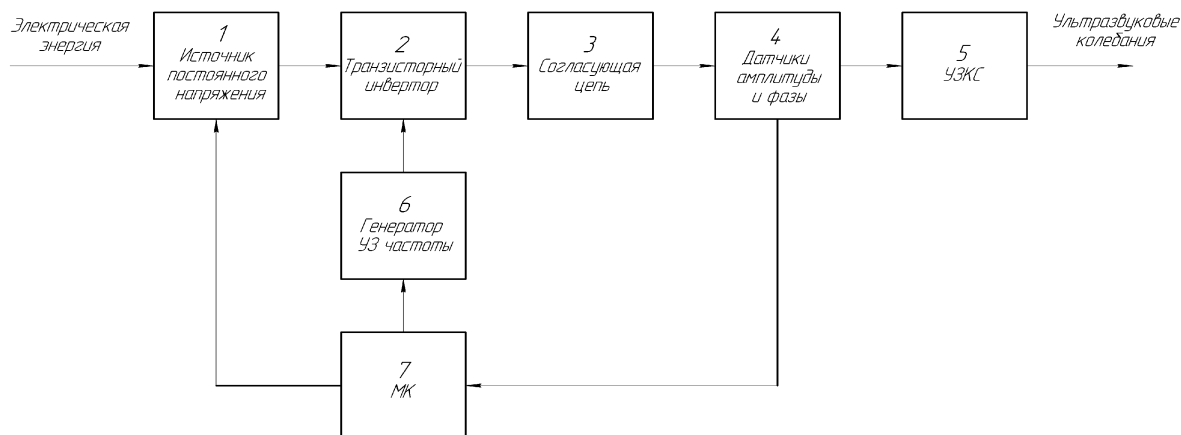


Рисунок 3 – Структурная схема ультразвукового генератора

сети в постоянное напряжение. Уровень выходного напряжения может изменяться в зависимости от управляющего воздействия, формируемого микроконтроллером 7. Напряжение с выхода источника постоянного напряжения 1 поступает на транзисторный инвертор 2. Частота преобразования инвертора задается генератором ультразвуковой (УЗ) частоты 6, работой которого, в свою очередь, управляет микроконтроллер 7.

На выходе инвертора 2 формируется сигнал прямоугольной формы УЗ частоты, амплитуда которого равна напряжению на выходе источника постоянного тока 1. Это

Влияние температурного фактора на систему согласования ультразвукового генератора

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). Далее рассмотрим структуру современных ультразвуковых генераторов (УЗГ), условия их согласования с УЗКС и влияние температуры УЗКС на их параметры.

Для возбуждения УЗКС используют электронные генераторы, преобразующие энергию электрической сети в энергию электрических колебаний ультразвуковой частоты.

Современный УЗГ является сложным многофункциональным устройством и может быть представлен в виде следующей структурной схемы.

Источник постоянного напряжения 1 выполняет функцию преобразования переменного напряжения промышленной или бытовой

напряжение поступает на вход согласующей цепи 3, выполняющей функции выделения и усиления первой гармоники прямоугольного сигнала. С выхода согласующей цепи напряжение поступает на пьезоэлементы колебательной системы 5. Датчики 4 выделяют сигнал обратной связи, используемый микроконтроллером для подстройки частоты и стабилизации амплитуды колебаний.

Микроконтроллер в современных ультразвуковых генераторах выполняет ряд функций, а именно: сканирование частотного диапазона, поиск резонансной частоты излучателя, удержание резонансного режима ра-

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ДИСКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

боты УЗКС, обнаружение «срывов» в работе генератора, перезапуск в случае возникновения нештатных режимов, управление и стабилизация мощности ультразвукового излучения, аварийное отключения электронного генератора [7].

Ультразвуковые излучатели эффективно работают только в резонансном режиме, то есть на резонансной частоте дискового излучателя [7]. 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. Для согласования УЗКС с электронным генератором необходимо обеспечить работу УЗКС на резонансной частоте. При этом выходное активное сопротивление генератора должно быть минимальным, а реактивные емкостные составляющие УЗКС должны компенсироваться реактивными индуктивными составляющими выходного каскада генератора [8].

Типовая схема согласования электронного генератора с УЗКС представлена на рисунке 4.

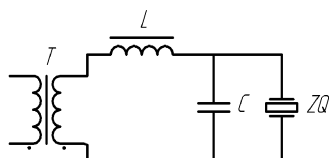


Рисунок 4 – Схема согласования УЗКС с выходом электронного генератора

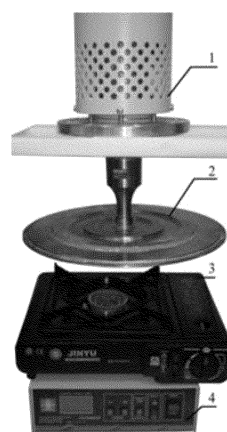
Согласование УЗКС с выходным каскадом электронного генератора осуществляется при помощи высокочастотного трансформатора (Т) и компенсационной индуктивности (L), включенной последовательно с пьезоэлектрическим преобразователем (ZQ).

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

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

Экспериментальные исследования влияния температурного режима на УЗКС

Для определения степени влияния температуры дискового излучателя на характеристики УЗКС была собрана лабораторная установка, представленная на рисунке 5, и состоящая из УЗГ, УЗКС с дисковым излучателем, газовой горелки, пирометрического датчика температуры, персонального компьютера для контроля и обработки экспериментальных данных.



1 – корпус пьезоэлектрического преобразователя; 2 – дисковый излучатель; 3 – газовая горелка; 4 – ультразвуковой генератор.

Рисунок 5 – Лабораторная установка

УЗКС трансформирует энергию электрических колебаний в энергию механических колебаний. Система электромеханических аналогий [9] позволяет представить УЗКС в виде эквивалентной электрической схемы [10]. В простейшем случае эквивалентная схема может быть представлена в виде последовательного электрического колебательного контура (механическая ветвь) и подключенной параллельно ему электрической емкости – электрическая ветвь (обусловлена наличием статической емкости пьезопреобразователя), как показано на рисунке 6.

Электрическая ветвь включает статическую емкость пьезокерамического преобразователя C и сопротивление диэлектрических потерь R_d (рисунок 6).

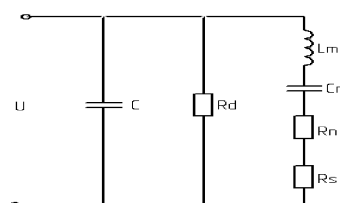


Рисунок 6 – Эквивалентная электрическая схема замещения УЗКС с пьезоэлектрическим преобразователем

РАЗДЕЛ 3. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Механическая ветвь содержит последовательно соединенные индуктивные, емкостные и активные элементы (L_m , C_m , R_n , R_s), определяемые свойствами УЗКС.

Согласно системе электромеханических аналогий, ток, протекающий по механической ветви, соответствует амплитуде колебаний излучателя. Выделение тока механической ветви в ультразвуковых генераторах осуществляется по помощи схемы, подробно описанной в работе [11].

В ходе эксперимента были получены амплитудно-частотные характеристики тока механической ветви УЗКС в процессе нагревания дискового излучателя, которые представлены на рисунке 7.

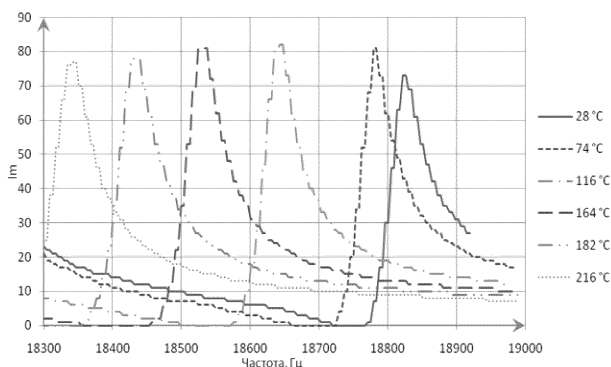


Рисунок 7 – Кривые АЧХ тока механической ветви, полученные при различной температуре

Частотные характеристики, представленные на рисунке 7, показывают, что с изменением (увеличением) температуры происходит смещение амплитудно-частотных характеристик УЗКС вниз по частоте, меняется амплитуда колебаний на резонансной частоте.

На рисунке 8 показан характер изменения резонансной частоты УЗКС при нагревании ее излучающей части (дискового излучателя).

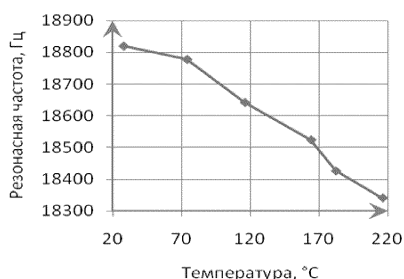


Рисунок 8 – Зависимость резонансной частоты УЗКС от температуры дискового излучателя

Наличие промежуточного охлаждающего звена УЗКС позволило исключить нагрев

преобразовательной части УЗКС при нагревании дискового излучателя до 215°C. Суммарный уход частоты УЗКС составил 470 Гц, что необходимо учитывать при расчете полосы удержания задающего генератора УЗ технологического аппарата.

Заключение

Результаты практических исследований легли в основу ультразвукового технологического аппарата серии «Соловей» УЗАГС-0,3/22-ОРв [12], внешний вид которого показан на рисунке 9.

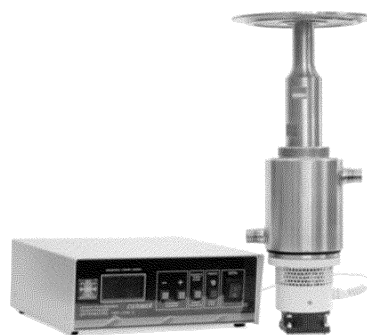


Рисунок 9 – Внешний вид аппарата «Соловей» УЗАГС-0,3/22-ОРв

Аппарат предназначен работы в газовых средах при температуре до 200°C. Применение промежуточного звена с жидкостным охлаждением позволило исключить негативное воздействие повышенной температуры обрабатываемых сред на пьезоэлектрический преобразователь, размещаемый вне зоны высокотемпературного воздействия. Основные технические характеристики созданного ультразвукового аппарата представлены в таблице 1 [12].

Таблица 1 – Технические характеристики

Мощность, ВА	300
Питание от сети переменного тока, В	220±22
Интенсивность колебаний (1 м), дБ, не менее	140
Время непрерывной работы, ч	8
Габаритные размеры: электронный генератор, мм	300x280x110
колебательная система, мм	Ø193x430
Диаметр излучателя, мм	193

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антуфьев, В.Т. Влияние ультразвука на показатели готового мелкоштучного хлебобулочного изделия/ В.Т. Антуфьев, М.А. Иванова // Электронный научный журнал процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]. – 2011. – ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2, 2013

О ДЕФЕКТΟΣКОПИИ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ AL-(ПЭНД-AL)X-AL

Выпуск №2. – Режим доступа: <http://processes.open-mechanics.com/articles/359.pdf>

2. Способ газификации твердого топлива [Текст]: пат. 2473669 Рос. Федерация: МПК С10J3/84 (2006.01), В01J19/10 (2006.01) / Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Хмелев М.В., Шалунова К.В., Галахов А.Н.; заявл. 03.08.2011; опубл. 27.01.2013.

3. Хмелев, В.Н. Разработка оборудования ультразвукового пеногашения и определение его функциональных возможностей / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.Н. Галахов // Электронный журнал Техническая акустика [Электронный ресурс]. – 2011. – Т. 11. – Режим доступа: <http://www.ejta.org/ru/khmelev8>.

4. Vladimir N. Khmelev Studies of ultrasonic dehydration efficiency [Текст] / V. N. Khmelev, A.V. Shalunov, R.V. Barsukov, D.S. Abramenko, A.N. Lebedev // Journal of Zhejiang University – Science A. – 2011. – Vol. 12. – p. 247-254.

5. Ультразвуковая коагуляция аэрозолей [Текст]: монография / В.Н. Хмелев [и др.] – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 241 с.

6. Хмелев, В.Н. Исследование акустической коагуляции аэрозоля, переносимого потоком воздуха [Текст] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, Р.Н. Голых // Ползуновский вестник. – 2011. – №4/1. – с. 211-216.

7. 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

8. Хмелев, В.Н. Согласование электронных генераторов с пьезоэлектрическими колебательными системами для повышения эффективности ультра-

звуковых аппаратов [Текст] / В.Н. Хмелев, Д.В. Генне, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов, Д.С. Абраменко // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. № 4. – С. 139-143.

9. Мэзон, У. Физическая Акустика [Текст] т.2. Методы и приборы ультразвуковых исследований / Под ред. У. Мэзона – М.: Мир, 1966. – 592с.

10. 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.

11. 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.

12. Ультразвуковой аппарат серии «Соловей» [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.ultrasonic.com/catalog/apparaty_dlya_uskovoreniya_protsesovov_v_gazovykh_sredakh/ultrazvukovoy_apparat_serii_solovey/

Д.т.н., проф., В.Н. Хмелев – vnh@bti.secna.ru; к.т.н., доцент, Р.В. Барсуков – roman@bti.secna.ru; аспирант Е.В. Ильченко – iev@bti.secna.ru; Ведущий инженер лаборатории кафедры методов и средств измерений и автоматизации Д.В. Генне – gdv@bti.secna.ru; к.т.н. доцент Д.С. Абраменко – ades@bti.secna.ru, (3854)43-25-70 – Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"

УДК: 620.179.118.415.05

О ДЕФЕКТΟΣКОПИИ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ AL-(ПЭНД-AL)X-AL МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

В.В. Поляков, С.Ф. Дмитриев, А.В. Ишков, Г.Е., Руденский, Е.А., Колубаев, В.Н. Маликов

В статье описаны результаты исследований визуальных образов дефектов в виде несплошностей, смо-делированных в металлополимерных слоистых композитах системы Al-(ПЭНД-Me)n-Al, вплоть до 10-слойного композита. Образы модельных дефектов получены Фурье-преобразователем прибора ИЭНМ-5ФА. Экспериментально обнаружена отстройка от зазора у дефектоскопа при использовании в качестве датчика сверхминиатюрного вихретокового преобразователя (СМВТП).

Ключевые слова: неразрушающий контроль, металлополимерный композит, дефект, метод вихревых токов.

Введение

Метод вихревых токов (МВТ), наряду с ультразвуковыми и рентгеноскопическими исследованиями, является одним из основных неразрушающих методов контроля различных материалов и изделий в современной

технике. Метод основывается на исследовании взаимодействия электромагнитного поля специального датчика - вихретокового преобразователя (ВТП) и исследуемого объекта. В зависимости от поставленных целей, свойств контролируемого объекта, природы и топо-

В.В. ПОЛЯКОВ, С.Ф. ДМИТРИЕВ, А.В. ИШКОВ, Г.Е., РУДЕНСКИЙ, Е.А., КОЛУБАЕВ, 133
В.Н. МАЛИКОВ