

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.Н. Хмелев, к.т.н., проф.; А.В. Шалунов, к.т.н., доц.
БТИ, г. Бийск, e-mail: shalunov@bti.secna.ru

В настоящее время большое число различных технологических процессов реализуются или интенсифицируются при помощи ультразвуковых (УЗ) колебаний, излучаемых в жидкие и жидко-дисперсные среды. При этом интенсивность УЗ воздействия определяет эффективность (скорость, производительность) реализации таких процессов. Известно, что при реализации каждого технологического процесса существует оптимальная интенсивность, и она определяется условиями протекания кавитационного процесса в жидкой технологической среде.

Обеспечение оптимального (УЗ) воздействия является основной задачей, решаемой при создании аппаратов и реализации новых технологических процессов. Очевидно, что для этого требуется учет влияния всех мешающих факторов, непрерывный контроль состояния технологической среды и условий протекания процесса, а также согласованная работа всех узлов и элементов технологического аппарата с максимальной эффективностью.

Анализ современного состояния УЗ техники свидетельствует лишь о частичном использовании возможностей отдельных узлов УЗ аппаратов (например, систем автоматической подстройки частоты и стабилизации амплитуды), отсутствии учета закономерностей и особенностей (например, изменения параметров технологических сред при возникновении кавитации) протекания процессов в различных жидких средах, отсутствии систем непрерывного контроля и автоматического регулирования для оптимизации УЗ воздействия. Основная часть исследований, направленных на развитие технологических аппаратов посвящена совершенствованию отдельных узлов и элементов колебательных систем и (или) электронных генераторов. При этом практически отсутствуют разработки, направленные на решение проблемы автоматического определения и установки оптимального режима УЗ воздействия (т.е. режима, при котором в жидкой среде реализуется максимальное кавитационное воздействие) на различные по свойствам технологические среды.

Таким образом, повышение эффективности технологических УЗ аппаратов требует введения в их состав информационно-измерительных и управляющих систем, обеспечивающих получение информации о протекании интенсифицируемого процесса, автоматическое установление оптимального УЗ воздействия на основе полученных данных, непрерывное управление электронным генератором, способным обеспечивать перестройку по частоте и мощности в необходимых пределах при изменении условий протекания процесса.

Для получения информации, требующейся для управления аппаратами необходимо определить информационный параметр, наиболее полно отражающий степень развития кавитации в технологической среде. Этот параметр должен быть общим для всех процессов, реализуемых в жидких средах. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования

показывают, что развитие в среде кавитации оказывает наибольшее влияние на плотность среды и скорость звука в среде, причем характер их изменения одинаков для всех жидких сред. Произведение этих величин есть волновое сопротивление среды. Таким образом, волновое сопротивление среды является наиболее информативным параметром, отражающим ход технологического процесса. Оценка этого параметра классическими методами, затруднена необходимостью использования дополнительных датчиков, которые усложняют конструкцию и искажают картину регистрируемого процесса. Поэтому было предложено отказаться от применения внешних датчиков и использовать высокую чувствительность колебательной системы к изменению характеристик обрабатываемой среды [1]. До настоящего времени наличие такой чувствительности считалось мешающим фактором, и ее старались минимизировать стабилизацией параметров УЗ генератора, либо игнорировать, путем заведомого снижения скорости процесса.

Для описания принципа контроля изменения волнового сопротивления среды при помощи УЗКС и определения достоверности получаемых результатов была предложена модель электроакустического тракта преобразования электрической энергии в ультразвуковую. Модель позволяет установить взаимосвязь между изменением физических параметров технологической среды и изменением электрических параметров УЗКС. Это позволяет не выходить за рамки наиболее просто осуществляемых измерений электрических параметров УЗКС. На рисунке 1 показана полученная физическая эквивалентная схема замещения УЗКС на пассивных электрических элементах.

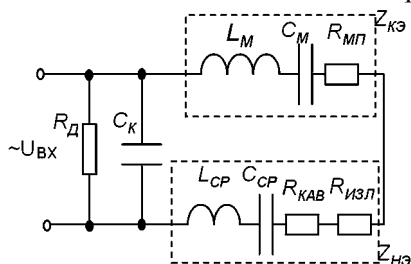


Рисунок 1 – Схема замещения пьезоэлектрической колебательной системы нагруженной на комплексное сопротивление среды

В представленной схеме: L_M эквивалентна колеблющейся массе системы, C_M – величине обратной упругости материала системы, $R_{МП}$ – сопротивлению механических потерь, C_K – электрической емкости пьезокерамических элементов, R_D – диэлектрическим потерям. Элементы $L_M, C_M, R_{МП}$ образуют собственный импеданс колебательной системы $Z_{КЭ}$. L_{CP}, C_{CP} – аналогично характеризуют реактивные свойства технологической среды, $R_{ИЗЛ}$ – характеризует волновое сопротивление среды, $R_{КАВ}$ – элемент отражающий затраты энергии на развитие и поддержание кавитации. В сумме элементы $L_{CP}, C_{CP}, R_{ИЗЛ}, R_{КАВ}$ образуют импеданс акустической нагрузки (технологической жидкой среды).

Таким образом, изменение любого из элементов $L_{CP}, C_{CP}, R_{ИЗЛ}, R_{КАВ}$ приведет к однозначному изменению входного импеданса УЗКС, которое может быть отслежено электронным генератором. Для этого информационно-измерительная система УЗ аппарата должна включать в себя инструментальные средства для контроля входного импеданса, добротности, резонансной частоты, амплитуды

УЗКС. Для ее практической реализации были разработаны специализированные устройства, подробно описанные в [2], интеграция которых в существующие УЗ оборудование позволила обеспечить автоматическое установление оптимальной интенсивности УЗ воздействия.

При экспериментальном исследовании возможности автоматического определения оптимальной интенсивности УЗ воздействия на жидкие среды были получены зависимости, представленные на рисунке 2. Пространство системы координат графика разделено на три участка в соответствии со стадиями развития кавитации.

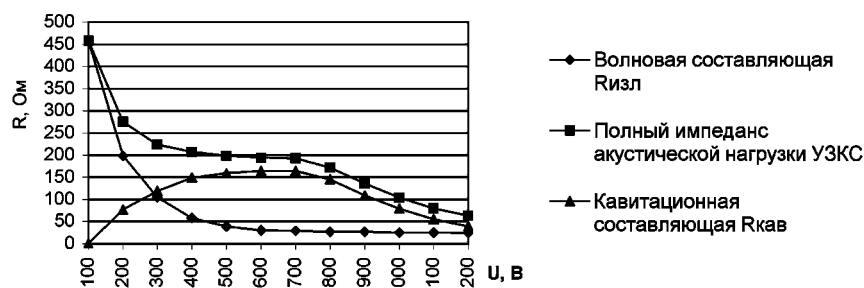


Рисунок 2 – Зависимости полного импеданса акустической нагрузки УЗКС и составляющих его компонент от напряжения питания УЗКС

Участок 1. На этом участке степень развитости кавитации в среде еще недостаточна и, следовательно, затраты энергии на поддержание кавитации невелики и не влияют на значение импеданса акустической нагрузки УЗКС.

Участок 2. Этот участок соответствует развитой кавитации (максимально эффективной кавитации) в среде, и в границах этого участка значение полного импеданса акустической нагрузки системы остается постоянным.

Участок 3. На этом участке происходит постепенное вырождение кавитационных пузырьков в резонансные и, соответственно, снижение кавитационной эффективности. Это приводит к уменьшению полного импеданса акустической нагрузки колебательной системы. Следовательно, критерием установления в жидкости режима развитой кавитации может служить факт прекращения изменения (уменьшения) полного сопротивления излучения УЗКС при увеличении напряжения ее питания.

Таким образом, снабжая УЗ аппараты информационно-измерительными системами способными непрерывно контролировать параметры УЗКС (а, следовательно, и технологической среды) можно автоматически устанавливать такую интенсивность УЗ воздействия при которой эффективность кавитационного воздействия будет максимальна. Созданные аппараты обеспечили повышение эффективности УЗ воздействия на 25...30% при КПД не ниже 80%.

Литература

1. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В. Измеритель электрических параметров колебательных систем. Барнаул: АлтГТУ, 1997. С.133 – 135.
2. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Шатунов А.В. Управление работой электронного генератора при ультразвуковом воздействии на кавитирующие технологические среды // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». Выпуск 2. Тула: ТулГУ, 2004. С. 32 – 40.