

Моделирование колебаний ультразвукового фокусирующего элемента из пьезокерамики.

Д.Ю. Шахворостов ОАО «ЭЛПА» г. Москва maglion@mail.ru

Пьезокерамические элементы представляющие собой часть сферической оболочки находят широкое применение в ультразвуковой технике. Они позволяют создать в фокальной области акустические условия, достаточные для возникновения кавитации.

При производстве сферических пьезоэлементов возникает проблема их изготовления идеальной формы. Поэтому в сферических пьезоэлементах имеют место отклонения от идеальной формы. Отклонение по геометрии обуславливают изменение фокальной области и ее характеристик. Экспериментальная проверка допустимых отклонений требует значительных средств и времени. Данная работа была направлена на оптимизацию этого процесса с помощью математического моделирования.

В настоящей статье приведены результаты моделирования собственных колебаний сферических пьезоэлементов с наиболее типичным вариантом отступления от идеальной формы - появление плоских участков. А также рассмотрены колебания пьезоэлементов, находящихся в жидкости и получены зависимости параметров фокального пятна от величин геометрического отклонения.

Объект расчетов - сферический пьезоэлемент - «мениск», представляет собой часть сферической оболочки внутренним радиусом $R_{вн}$, наружным радиусом $R_{нар}$, (толщиной 0,8 мм, $f \sim 2600$ Гц), ограниченную диаметром $D=19$ мм. Пьезоэлемент имеет токопроводящие сферические поверхности (металлизация по образующим сферы воженым серебром).

Для расчетов использовались типовые значения материальных констант пьезокерамического материала ЦТС-35.

При расчетах для общего описания пьезоэлектрической среды использовались конечные элементы PLANE 13, которые применяются для моделирования плоских объектов. В данной работе при расчете объемного сферического излучателя было предложено использовать сечение этого излучателя для перехода от объемной задачи к плоской в целях экономии машинного времени, результаты расчета плоской задачи мало отличаются от результатов расчета объемной модели.

В работе рассматривалось два варианта сферических излучателей: без отклонений и с плоским участком в центре сферического излучателя. Измеряемыми параметрами были частота электрического резонанса (f_r), частота электрического антирезонанса (f_a), формы колебаний на резонансной частоте пьезоэлемента.

Реальные амплитуды колебаний поверхности пьезоэлементов составляют единицы и десятки нанометров, для их изображения на рисунках использовались масштабные множители (\sim в 10^5 раз). Машинные расчеты позволяют представить на экране апимационные фильмы колебательных процессов, на которых видно насколько синхронны толщинные колебания различных частей пьезоэлемента.

АЧХ свободного пьезоэлемента «идеальной» формы достаточно изрезана, имеет несколько максимумов на резонансной частоте: частота антирезонанса выражена более четко. При увеличении размеров по толщине и при уменьшении размеров по толщине изменения происходят по всему пьезоэлементу почти одинаково.

АЧХ пьезоэлемента «идеальной» формы, закрепленного по краям (по образующей

цилиндрической поверхности 019 мм), имеет более выраженную частоту резонанса; значения частот антирезонанса свободного и закрепленного пьезоэлементов отличаются. При увеличении размеров по толщине и при уменьшении размеров по толщине изменения толщины происходят не одинаково; амплитуда колебаний точек поверхности в центре наибольшая, амплитуда колебаний жестко закрепленного края равна нулю.

На частотах толщинных колебаний формы смещений поверхностей оказываются не гладкими. отличными от поршневых; такие отличия имеют место при всех вариантах расчетов. Периодичность отклонений точек поверхности (от гладкой сферической) определяется частотой и скоростью распространения колебаний в направлении, перпендикулярном направлению поляризации.

Таким образом, в результате расчетов определены тенденции в изменении размеров и формы пьезоэлементов «идеальной» и не «идеальной» сферической формы для различных фаз колебательного процесса: в зависимости от граничных условий (способов закрепления). Изменения рассчитанных амплитудно-частотных характеристик в зависимости от граничных условий коррелируют с имеющимися экспериментальными данными.

Дальнейшая работа была посвящена моделированию пьезоэлементов с плоским участком, помещенных в жидкость.

В результате работы программы была получена зависимость параметров фокального пятна от длины плоского участка пьезоэлемента.

Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод, максимальный уровень давления в жидкости достигается при длине плоского участка 3 мм и равен 47,2 МПа, а фокальное пятно независимо от величины плоского участка всегда находится значительно дальше, чем значение радиуса, а именно на расстоянии ~ 26 мм.

Рассчитанное устройство нуждается в оптимизации или в подборе величины внутреннего радиуса с целью сокращения расстояния между фокальным пятном и мениском.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ANSYS. Theory Reference. Rel.7.0. I Ed. P. Коппке. ANSYS, Inc. Houston. 2003.
2. www.elpapiezo.ru
3. Труды международной научно-практической конференции «Пьезотехника-2003», М.: 2003, с.254-256.
4. Наседкин А.В., Рыбьянец А.Н. Конечно-элементный расчет в ANSYS акустического пучка, генерируемого сферическим фокусирующим пьезоизлучателем // Сб.тр. II конф. пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH (Москва, 17-18 апр.2002г.) / Под ред. А.С.Шадского. М.: изд-во «Барс», 2002, с.312-317.
5. Материалы пьезокерамические, ОСТII 0444-87, 1987, с.121.