

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

УДК 533.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ОДНОМОДОВОГО СФЕРИЧЕСКОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Бабаев А.А., Гнатейко Н.В.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

В работе выполнены экспериментальные исследования и проведен сравнительный анализ результатов измерений с теоретическими которые получены в рамках линейной теории электроупругости, основанной на гипотезах Кирхгофа-Лява.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, акустическая среда, сферический пьезопреобразователь.

Постановка проблемы. При сложных режимах эксплуатации пьезоэлектрических преобразователей, работа которых связана с укорочением длительности действующих импульсов использование электрических сигналов сложной конфигурации требует учета переходных стадий процесса и повышения требований при построении математических моделей и при этом является весьма важно располагать информацией о точности с которой можно описать реальные физические объекты.

В работе выполнены экспериментальные исследования и проведен сравнительный анализ результатов измерений с теоретическими которые получены в рамках линейной теории электроупругости, основанной на гипотезах Кирхгофа-Лява.

Основные материалы исследования. В качестве объекта использовался сферический пьезо-керамический излучатель изготовленный из пьезокерамики марки ЦТБС-3 диаметром $d = 0,051$ м и толщиной $h = 0,025$ м поляризованный в радиальном направлении. Используемый преобразователь, с точки зрения математического моделирования рассматриваемой оболочки удовлетворяет условиям, что он тонкостенный и дает возможность описания в рамках гипотез Кирхгофа-Лява $R/h \leq 0,1$ (R, h – радиус и толщина).

Исследования проводились в измерительном бассейне Киевского НИИ Гидроприборов в соответствии с требованиями РД 5.8361-86 с использованием электрической структурной схемы приведенной на рис. 1.

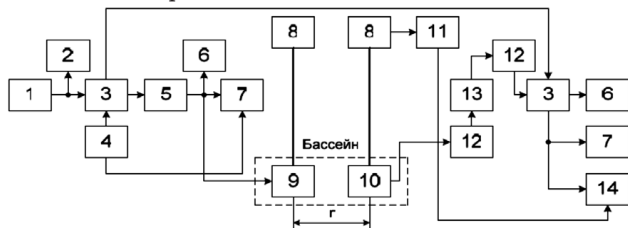


Рис. 1. Электрическая структурная схема

На рисунке 1 приведены цифрами следующие обозначения: 1 – генератор (работает на частоте

собственных колебаний исследуемого излучателя $f = 37,4$ кГц); 2 – частотомер; 3 – модулятор – селектор; 4 – устройство поддержания постоянного уровня; 5 – усилитель мощности; 6 – осциллограф; 7 – вольтметр; 8 – координатное устройство; 9 – излучатель; 10 – образец; 11 – формирователь меток угла; 12 – усилитель; 13 – фильтры; 14 – регистратор; 15 – переключатель режима поддержания постоянного уровня.

Гидрофон располагался от излучателя в ближнем поле на расстоянии $r \leq 2d^2/\lambda$, где r – расстояние между излучателем и гидрофоном; λ – длина волны ($\lambda = 0,0401$ м).

Требования к условиям проведения измерений в части помеховой ситуации, заключается в том, что чувствительность излучателя в режиме излучения должна обеспечивать в месте размещения гидрофона акустический сигнал, превышающий давление акустических шумов в полосе $1/3$ октавы не менее, чем 12 дБ.

$$\beta = 4 \frac{P_u}{u} r, \quad (1)$$

где β – чувствительность излучателя в режиме излучения по напряжению; P_u – эффективное значение акустических шумов в полосе $1/3$ октавы; u – напряжение на излучателе.

Требования к длительности излучаемого сигнала определялись из условия $\tau_{\min} < \tau < \tau_{\max}$, где τ_{\min} – минимальная длительность, определяемая характеристиками измерительных приборов; τ_{\max} – максимальная длительность, определяемая размерами бассейна и расстоянием r . Длительность импульса в соответствии с вышеизложенным составляла 1 мс для размеров бассейна 4,0 x 7,0 x 4,5. Расстояние между центрами излучателя и гидрофона устанавливалось $r = 0,19$ м.

В качестве гидрофона использовался сферический пьезоэлектрический преобразователь диаметром 5 мм. Схема размещения щупа – гидрофона представлена рис. 2.

С помощью координатного устройства излучатель погружался в бассейн на глубину 2 м и, при необходимости, осуществлялся его поворот относительно гидрофона.

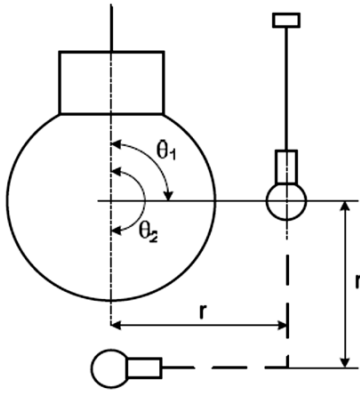


Рис. 2. Схема розмещення щупа – гідрофона

Результаты исследования и их анализ. При проведении исследования измерения проводились 10 раз для каждого положения щупа-гидрофона относительно преобразователя. Результаты усреднялись по 10 реализациям. Погрешность результатов измерений при доверительной вероятности составила $P = 0,95$ находилась в пределах $\delta_0 = \pm 21\%$.

В первом случае, поворачивая излучатель вокруг своей оси с шагом $\Delta = 20^\circ$, в направлении $\theta = \theta_1 = 90^\circ$ экспериментально было получено амплитудное угловое распределение (относительно угла φ) ближнего поля в установившемся режиме колебаний (рис. 3).

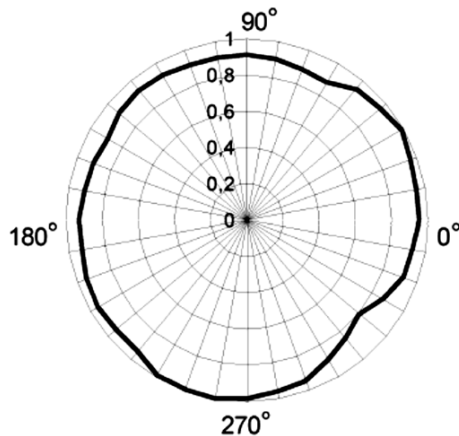


Рис. 3.

Результаты, представленные в безразмерном виде, получены путем деления амплитуды снимаемого с осциллографа напряжения при задан-

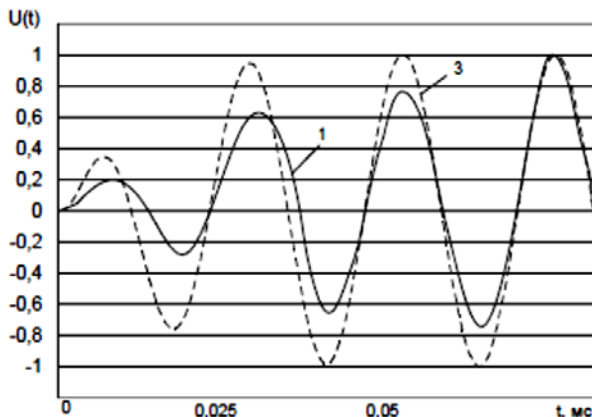


Рис. 5.

ном значении угла φ на максимальное напряжение $(U(\varphi)/U_{\max}(\varphi))$. Полученные результаты лежат в пределах общепринятой погрешности измерений 3 дБ, что подтверждает использование принятой теоретической модели преобразователя в части его осесимметричности относительно оси вращения.

Во втором случае при помощи осциллографа проводилась фиксация конфигурации начальной стадии импульса снимаемого с гидрофона, при возбуждении излучателя электрическим сигналом известной формы, и сравнение ее с конфигурацией полученной теоретически.

Приведем осциллограмму теоретически рассчитанного акустического импульса на поверхности сферического пьезоэлектрического преобразователя (рис. 4) при возбуждении электрическим импульсом длительностью 1 мс и одночастотным заполнением на частоте собственных колебаний сферической оболочки.

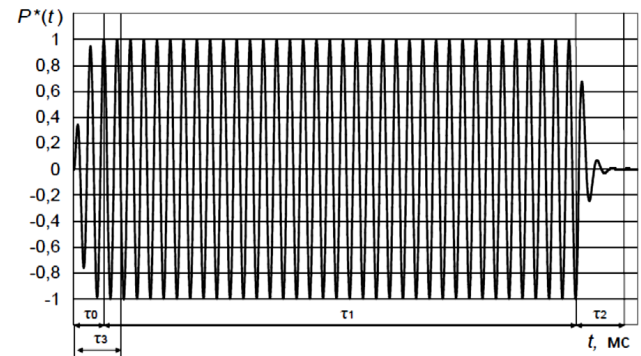


Рис. 4.

На графике наблюдается начальный переходный участок длительностью τ_0 , за это время амплитуда колебаний достаточно быстро увеличивается. Далее следует участок длительностью τ_1 , на котором наблюдаются колебания близкие к установившимся. После окончания действия возбуждающего электрического импульса, амплитуда акустических колебаний достаточно быстро спадает до нуля (участок длительностью τ_2).

Принимаем, что профиль теоретически рассчитанного акустического импульса совпадает с осциллограммой электрического напряжения снимаемого с гидрофона. При сравнении экспериментальных и теоретических результатов рассматривался временной участок $\tau_3 = 1,07$ мс (рис. 5, 6).

Следует отметить, что длительность рассматриваемого временного интервала меньше вре-

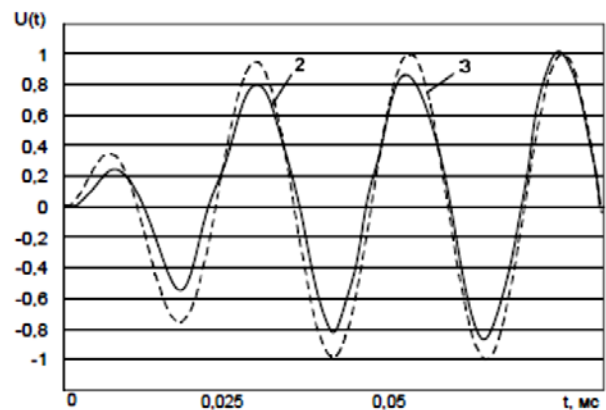


Рис. 6.

мени, необходимому для прихода к излучателю сигнала отраженного от гидрофона. Поэтому присутствие гидрофона в ближнем поле не влияет на форму анализируемого импульса.

Экспериментальные результаты были получены для двух направлений: бокового – $\theta_1 = 90^\circ$ (линия 1, рис. 5) и лобового – $\theta_2 = 180^\circ$ (линия 2, рис. 6). Теоретическая кривая показана линией 3.

Сопоставление полученных экспериментальных и расчетных результатов свидетельствуют об их хорошем совпадении. Так в любом направлении отличия экспериментальных и расчетных амплитуд в экспериментальных точках не превышают 3 дБ. В боковом направлении отличия более существенны. Следует отметить, что наблюдается отличие экспериментальных и расчетных осциллограмм в амплитудах, несовпадение точек пересечения с осью времени,

а также разная длительность переходного процесса. Указанные отличия объясняются влиянием входных электрических цепей, в частности фильтра, а также тем, что математической моделью принимается, что оболочка является абсолютно сферической конструкцией, в то время как реальный преобразователь имеет узел крепления. Близостью к узлу крепления объясняется большее отличие от теоретических экспериментальных данных, полученных в боковом направлении (линия 1).

Выводы. На основании выполненных расчетов и экспериментов можно сделать вывод о применимости предложенной модели сферических пьезоэлектрических оболочек, основанной на гипотезах Кирхгофа-Лява, в нестационарных задачах гидроэластостатики при расчетах акустических преобразователей.

Список литературы:

1. Гузь А.Н., Кубенко В.Д., Бабаев А.Э. Гидроупругость систем оболочек. – Киев: Вища школа, 1984. – 466 с.
2. Мнев Е.Н., Перцев А.К. Гидроупругость оболочек. – Л.: Судостроение, 1970. – 366 с.
3. Гринченко В.Г., Улитко А.Ф., Шульга Н.А. Эластостатика. – К.: Наук. думка, 1989. – (Механика связанных полей в элементах конструкций: В 5 т. Т. 5). – 279 с.
4. Улитко А.Ф. К теории колебаний пьезокерамических тел // Тепловые напряжения в элементах конструкций. – 1975. – № 15. – С. 90-99.
5. Седов Л.И. Механика сплошной среды. – М.: Наука, 1970. – Т. 1. – 492 с.; Т. 2. – 568 с.
6. Пьезокерамические преобразователи / Под ред. С.И. Пугачева. – Л.: Судостроение, 1984. – 256 с.

Бабасв О.А., Гнатейко Н.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОДНОМОДОВОГО СФЕРИЧНОГО П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Анотація

В роботі виконані експериментальні дослідження та проведено порівняльний аналіз результатів вимірювань з теоретичними які отримані в рамках лінійної теорії електроупругості, заснованої на гіпотезах Кірхгофа-Лява.

Ключові слова: експериментальні дослідження, акустичне середовище, сферичний пьезопреобразователь.

Babaev A.A., Gnatejko N.V.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE WORK OF A SINGLE-MODERN SPHERICAL PIEZOELECTRIC CONVERTER

Summary

The article conducts experimental research and makes a comparative analysis of observed data and theoretical ones that obtained within the linear theory of electroelasticity based on Kirchhoff-Love hypotheses.

Keywords: experimental research, acoustic environment, spherical piezo transducer.