

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ, НАХОДЯЩИМИСЯ В ЖИДКОСТИ

Введение

В настоящее время в прикладных задачах гидроакустики, кроме традиционных вопросов обнаружения объектов, находящихся под водой, все чаще возникает необходимость их распознавания и классификации.

Использование возбуждающих широкополосных электрических сигналов, обуславливает повышенные требования при выборе исходных математических моделей, описывающих взаимное преобразование акустических и электрических импульсов. При этом важно располагать информацией о степени точности, с которой эти модели описывают реальные физические процессы.

В работах [1 - 3] и последующих публикациях, посвященных теоретическим исследованиям нестационарных режимов работы находящихся в жидкости цилиндрических, сферических и пластинчатых пьезоэлектрических преобразователей, в качестве расчетной модели применялась линейная теория электроупругости или модель электроупругих колебаний тонких оболочек и пластин, базирующихся на прикладных гипотезах Киргофа–Лява.

Постановка задачи

Целью представленной работы является проведение экспериментальных исследований нестационарных процессов, происходящих при излучении акустических импульсов цилиндрическим пьезоэлектрическим преобразователем, сопоставление результатов этих исследований с теоретическими.

Описание измерительной установки

В качестве объекта измерений использовался поляризованный в радиальном направлении цилиндрический пьезоэлектрический преобразователь (излучатель), выполненный из пьезокерамики марки ЦТБС-3 [5] радиуса R со срединной поверхностью ($R = \frac{R_2 + R_1}{2}$, где R_1, R_2 - внутренний и наружный радиусы цилиндра, соответственно),

высоты l и толщины h , которые имели значения $R=0,0675$ м, $l=0,38$ м, $h=0,006$ м. На торцах излучателя располагались круглые металлические пластины (крышки), которые, при погружении преобразователя в воду, обеспечивали герметичность его внутреннего объема.

Экспериментальные исследования проводились в акустическом бассейне НИИ Гидроприборов в соответствии с требованиями РД5.8361-86 [4] с использованием электрической схемы, изображенной на рис. 1.

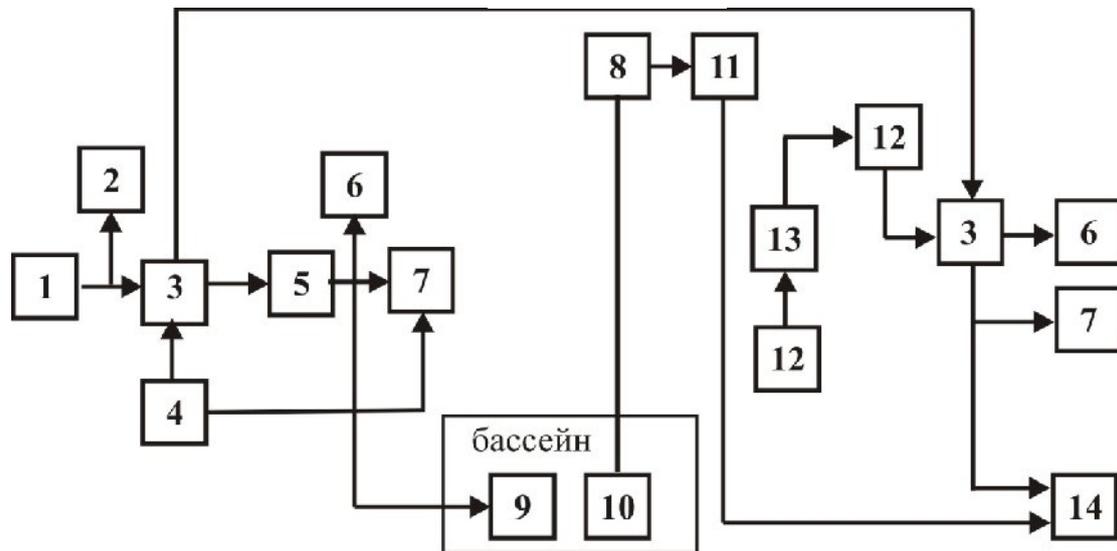


Рис. 1. Электрическая блок-схема измерительной установки

На схеме приведены следующие обозначения:

- 1 – генератор (вырабатывает электрический тональный сигнал, совпадающий с основными (первой или второй) частотами собственных колебаний исследуемого излучателя $f_1=7,9$ кГц, $f_2=11,2$ кГц);
- 2 – частотомер; 3 – модулятор селектор (осуществляет преобразование тонального электрического сигнала в импульс, определяет его длительность, начальную фазу и частоту следования); 4 – устройство поддержания постоянного уровня электрического возбуждения;
- 5 - усилитель мощности; 6 – осциллограф; 7 – вольтметр; 8 – координатное устройство; 9 – излучатель; 10 – широкополосный измерительный гидрофон; 11 – формирователь меток угла; 12 – усилитель; 13 – фильтры; 14 – устройство регистрации.

Измерения проводились в воде, где измерялось акустическое давление вблизи излучателя.

В качестве объекта измерений был выбран секционированный цилиндрический преобразователь, у которого электроды разделены в осевом направлении на две равные части (рис. 2).

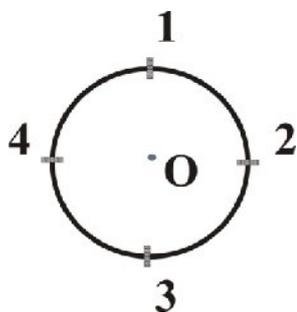


Рис. 2. Схема размещения электродов на преобразователе

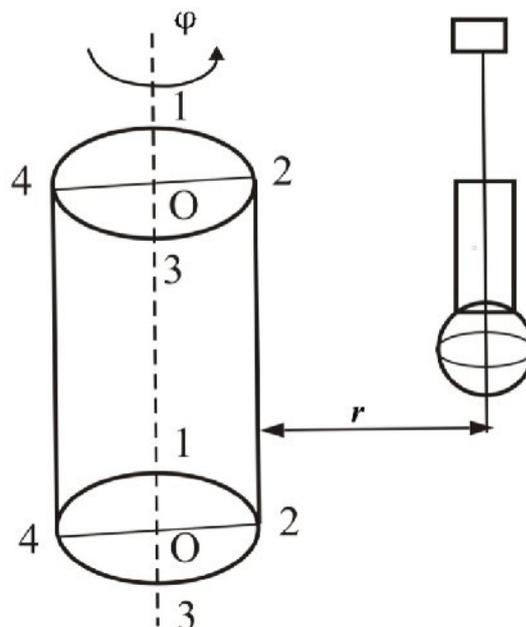


Рис. 3. Схема размещения измерительной установки в бассейне

На этом рисунке точками 2 и 4 обозначены линии разрезов электродов в осевом направлении (один электрод 4–1–2, второй 2–3–4). Возникающее в процессе работы излучателя давление в жидкости преобразовывалось гидрофоном 10 (пьезоэлектрическая сфера диаметром 0,007 м, которая располагалась на расстоянии 0,002 м от поверхности излучателя) в электрический импульс.

Гидрофон располагался от излучателя на расстоянии $r \leq \frac{8R^2}{\lambda}$, где λ - длина волны в жидкости. Согласно требованиям, предъявляемым к условиям проведения измерений, чувствительность излучателя в месте размещения гидрофона должна обеспечивать превышение уровня акустического сигнала над уровнем акустических шумов в полосе 1/3 октавы не менее, чем 12 дБ [4],:

$$\beta = 4 \frac{P_n}{U'} r,$$

где β – чувствительность излучателя в режиме излучения по напряжению; P_n – эффективное значение акустических шумов в полосе 1/3 октавы; U' - напряжение на излучателе.

Требования к длительности излучаемого сигнала определялось из условия $t_{min} < \tau < t_{max}$, где t_{min} – минимальная длительность, определяемая характеристиками измерительных приборов; t_{max} - максимальная длительность, определяемая размерами бассейна и расстоянием r между излучателем и гидрофоном. Длительность импульса в соответствии с вышеизложенным составила ~ 2 мс. Импульс от гидрофона 10 усиливался блоком 12 и проходил через устройство 3,

которое производило селекцию генерируемой излучателем волн от возмущений, вызванных отражениями от стенок бассейна (размеры бассейна $8 \times 4 \times 4$ м.). Отметим, что амплитуда этих возмущений незначительна за счет наличия звукопоглощающего покрытия на его стенках. Вид акустического импульса давления регистрировался на осциллографе 6. С помощью устройства 8 излучатель 9 погружался в бассейн на глубину 2 м. и, при необходимости, осуществлялся его поворот относительно гидрофона (рис. 3).

Градуировка установки проводилась с помощью эталонных гидрофонов в соответствии с отраслевыми стандартами [4].

Проверка показала, что средняя квадратическая погрешность измерения не превышала 4%.

Экспериментальные исследования и их анализ

Измерения проводились 10 раз для каждого положения гидрофона относительно преобразователя. Результаты усреднялись по 10 реализациям. Погрешность результатов измерений при доверительной вероятности $P = 0,95$ находилась в пределах $\delta_0 = \pm 21\%$.

Результаты измерений (штрихованные линии) и расчетов, выполненные в соответствии с моделью тонких электроупругих оболочек (сплошная линия) и линейной теорией электроупругости (штрихпунктирная линия) представлены на рис. 4. – рис. 8.

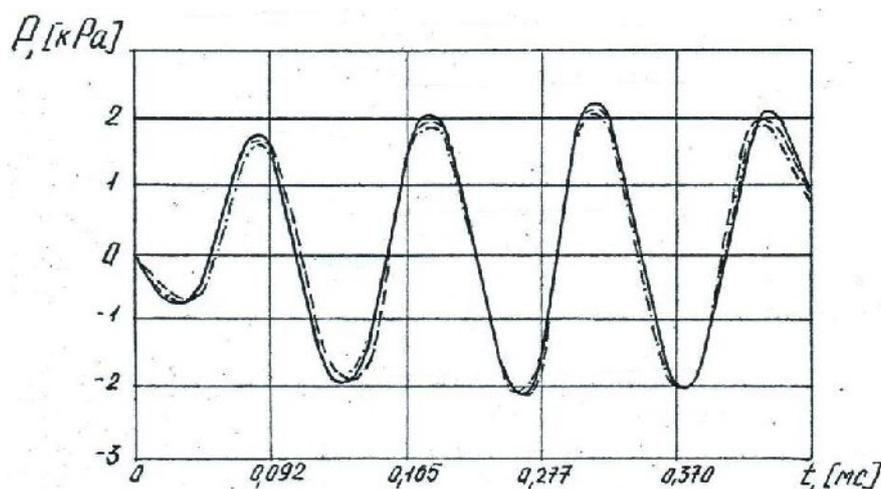


Рис. 4. Осциллограмма акустического давления при $f_1 = 7,9$ кГц

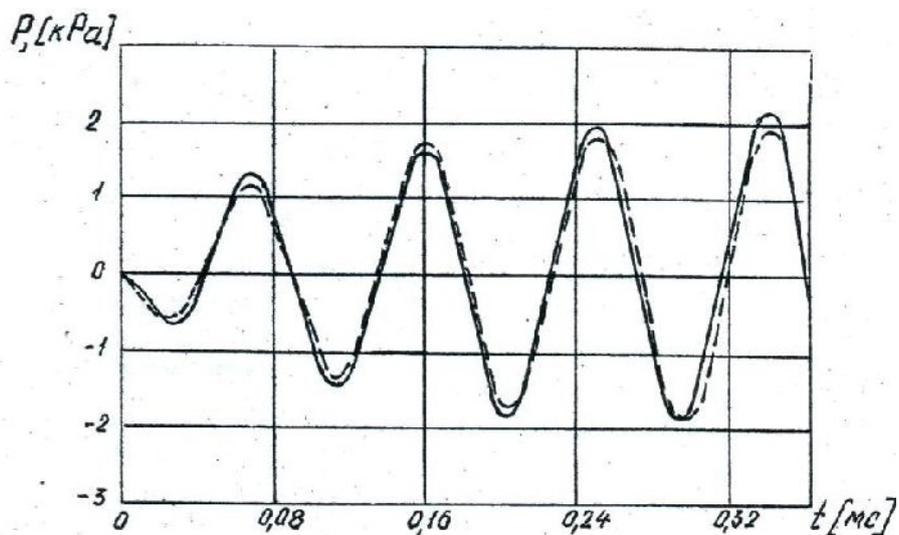


Рис. 5. Осциллограмма акустического давления при $f_2 = 11,2$ кГц для точки 1

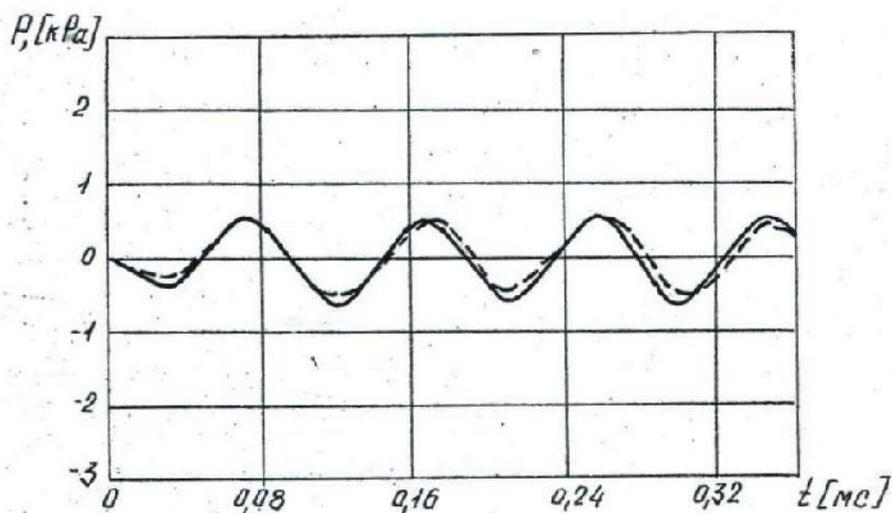


Рис. 6. Осциллограмма акустического давления для точки 2

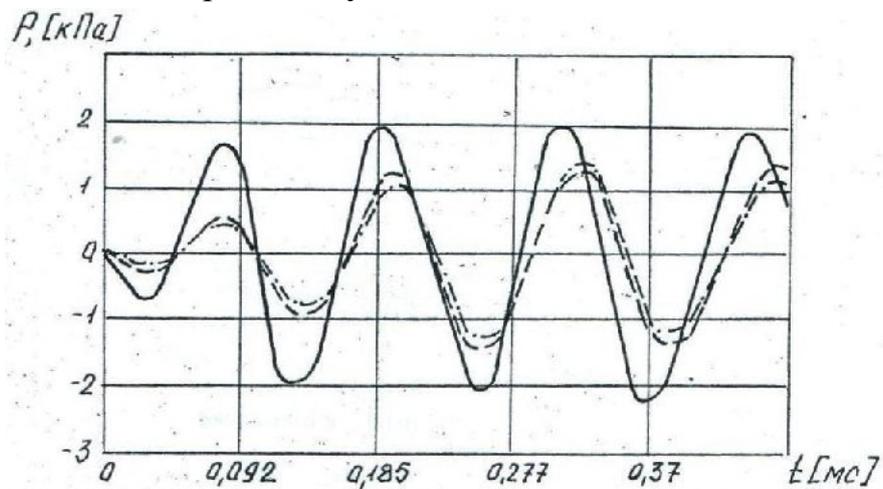


Рис. 7. Осциллограмма акустического давления для точки 3

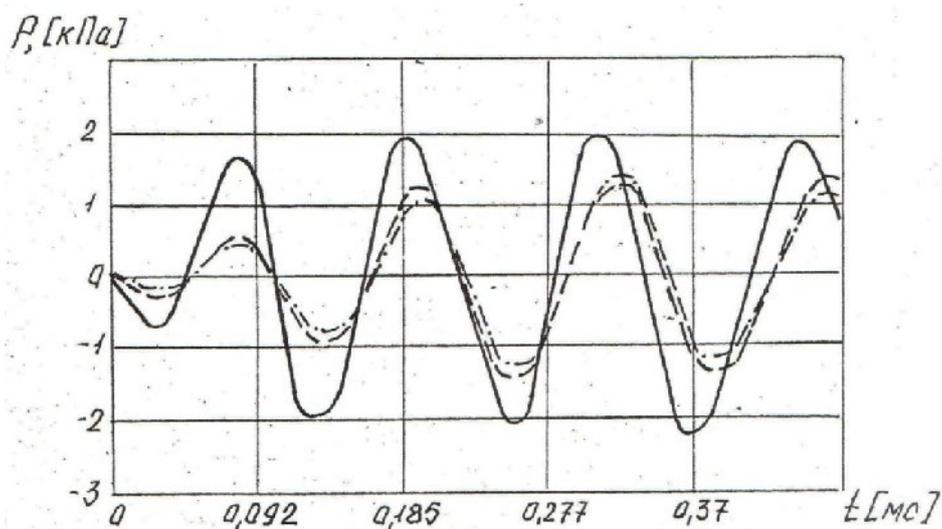


Рис. 8. Осциллограмма акустического давления вдоль образующей цилиндра

На рис. 4. – рис. 7. измерения и расчеты проводились для центрального сечения цилиндра, а на рис. 8 измерения были проведены вдоль его образующей. Рис. 4. иллюстрирует давление при осесимметричном электрическом возбуждении излучателя (сигнал подавался одновременно на все электроды оболочки). Частота заполнения подводимого импульса задавалась равной собственной частоте пульсирующих колебаний цилиндра ($f_1 = 7,9$ кГц).

На рис. 5. – рис. 7. приведено давление в случае несимметричного возбуждения излучателя, когда электрический сигнал подводился к половине его поверхности (секция 4-1-2). Остальная пара электродов (секция 2-3-4) – закорочена.

Гидрофон располагался в точках 1, 2, 3.

Указанным вариантам измерений и расчетов соответствуют кривые, изображенные на рис. 5. (точка 1), рис. 6. (точка 2), рис. 7. (точка 3), соответственно. Здесь возбуждение преобразователя осуществлялось на резонансной частоте осциллирующих колебаний пьезоэлектрической оболочки ($f_2 = 11,2$ кГц).

На рис. 8. приведены экспериментальные осциллограммы акустического давления при осесимметричном возбуждении пьезовибратора с частотой $f_1 = 7,9$ кГц. При этих измерениях гидрофон последовательно располагался через один сантиметр вдоль образующей цилиндра.

Результаты измерений на рис. 8. приведены для среднего сечения излучателя (сплошная кривая), а также вблизи одного из его торцов на

расстоянии одного (пунктирная кривая) и двух (штрихпунктирная кривая) сантиметров от внешнего края. Для других сечений на рисунок осциллограммы не нанесены, поскольку они практически совпадают с осциллограммой в срединном сечении.

Выводы

Сопоставление полученных экспериментальных результатов и расчетов, выполненных с привлечением различных моделей, свидетельствует об их хорошем совпадении.

Отличие экспериментальных и расчетных значений акустического давления в экстремальных точках составляет по прикладной теории около 8% и практически отсутствует (в пределах точности проведенных расчетов и измерений) по линейной теории электроупругости.

На основании выполненных расчетов и экспериментов можно сделать вывод о достаточно высокой точности и в целом применимости модели бесконечно длинных тонкостенных пьезоэлектрических цилиндрических преобразователей, основанной на линейной теории электроупругости и гипотезах Кирхгофа–Лява, в нестационарных задачах при расчетах акустических преобразователей.

Список использованной литературы

1. *Дідковський В. С.* Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі (розрахунок, проектування, конструювання). / В. С. Дідковський, О. Г. Лейко, В. Г. Савін // Навчальний посібник. – Кіровоград: «Імекс.–ЛТД». 2006. – 448 с.
2. *Савин В. Г.* Нестационарная гидроэлектроупругость сферических пьезоэлектрических преобразователей. Монография: / В. Г. Савин, А. В. Збруцкий, И. О. Моргун // К.: НТУУ «КПИ», 2013, – 244 с.
3. *Савин В. Г.* Уравнение колебаний пьезокерамических сферических и цилиндрических оболочек // В. Г. Савин, И. О. Моргун / Інформаційні системи, механіка та керування. № 5. 2010. С.85-97.
4. РД 5.8361–86. Преобразователи и антенны гидроакустические: Методика измерений параметров на испытательных базах предприятий. – 1986. – 30 с.

5. Пьезокерамические преобразователи. Справочник/ Ред. С. И. Пугачева.
– Л: Судостроение. 1984. – 256 с.