

УДК 534.86

РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПАРАБОЛОИДНЫХ И ЭЛЛИПСОИДНЫХ ПЬЕЗОПЛАСТИН

В. И. БОРИСОВ, С. С. СЕРГЕЕВ, Е. Н. ПРОКОПЕНКО, В. А. НОВИКОВ

ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Могилев, Беларусь

UDC 534.86

THE CALCULATION OF THE ACOUSTIC FIELD OF RADIATION THE ACTIVE CONCENTRATORS ON THE BASIS OF THE PARABOLOIDICAL AND ELLIPSOIDICAL PIEZOELECTRIC CRYSTAL PLATES

V. I. BORISOV, S. S. SERGEEV, E. N. PROKOPENKO, V. A. NOVIKOV

Аннотация

Представлены результаты расчета акустических полей излучения круглых фокусирующих акустических преобразователей в виде участка гиперболоида и эллипсоида вращения. Показано, что в дальней зоне как на оси пьезопластины, так и вне оси поле носит неоднородный характер и практически не отличается для обоих типов преобразователей. При увеличении диаметра пьезопластины фокусное расстояние пьезопреобразователя увеличивается.

Ключевые слова:

акустическое поле, пьезоэлектрический преобразователь, пьезопластина, гиперболоид вращения, эллипсоид вращения, ближняя зона, дальняя зона, фокусирующий пьезопреобразователь, фокусное расстояние, диаметр пучка, активный концентратор.

Abstract

By method of the numerical analysis is calculated acoustic field of the radiation round focusing acoustic converters in the manner of area giperboloid and ellipsoid of the rotation. It is shown that in far-field both on axis piezoelectric crystal plates, and outside of axis field carries the lumpy nature and practically does not differ for both types of the converters. When increase the diameter piezoelectric crystal plates focal length piezoelectric converter it increases.

Key words:

acoustic field, piezoelectric converter, piezoelectric crystal plates, giperboloid of the rotations, ellipsoid of the rotation, near zone, far-field zone, focusing piezoelectric converter, focal length, diameter of the bunch, active concentrator.

Фокусирующие пьезопреобразователи (ПЭП) применяются для повышения чувствительности и разрешающей способности неразрушающего акустического контроля. Так как акустическое поле ПЭП формируется в

результате интерференции когерентных акустических волн, то кроме основных максимумов, оно содержит ряд дополнительных максимумов, которые могут влиять на эффективность работы ПЭП.

Аналитическое решение при расчете акустического поля фокусирующих ПЭП удастся получить лишь для точек, расположенных на акустической оси пьезопластины в виде участка сферической поверхности (активного концентратора) [1, 2]. В работах [3–5] численным методом проведен анализ особенностей акустического поля излучения прямоугольных, круглых плоских и сферических пьезопластин.

В данной работе приведены результаты анализа акустического поля излучения активных концентраторов на основе пьезопластин в виде гиперболоида вращения и эллипсоида вращения для непрерывного режима возбуждения акустических волн. Расчет акустического поля проводился способом, изложенным в [3].

Пьезопластина в виде участка гиперболоида вращения образуется вращением вокруг оси z гиперболы, каноническое уравнение которой имеет вид

$$\frac{(z+a)^2}{a^2} = \frac{x^2}{b^2} + 1, \quad (1)$$

где a, b – параметры гиперболы, определяющие ее кривизну.

Пьезопластина в виде участка эллипсоида вращения образуется вращением эллипса вокруг оси z , каноническое уравнение которого имеет вид:

$$\frac{(z-a)^2}{a^2} = -\frac{x^2}{b^2} + 1, \quad (2)$$

где a, b – параметры эллипса, определяющие его кривизну.

Схема расчета акустического поля излучения для обоих видов рассматриваемых пьезопластин одинакова.

В соответствии со схемой численного расчета для сферических пьезопластин, приведенной в работе [5], величина акустического давления в точке, отстоящей на расстоянии R от элементарной излучающей площадки пьезопластины dS , будет пропорциональна сумме:

$$P = \sqrt{\left(\sum_0^N \frac{h^2 \sin \theta}{R} \cos \varphi \cos \frac{2\pi}{\lambda} R \right)^2 + \left(\sum_0^N \frac{h^2 \sin \theta}{R} \cos \varphi \sin \frac{2\pi}{\lambda} R \right)^2}, \quad (3)$$

где h – расстояние от вершины гиперболоида и эллипсоида до площадки dS ; θ – угол между осью z и направлением на площадку dS .

Коэффициент $\cos \varphi$ учитывает наклон элементарной площадки к направлению на рассматриваемую точку [2].



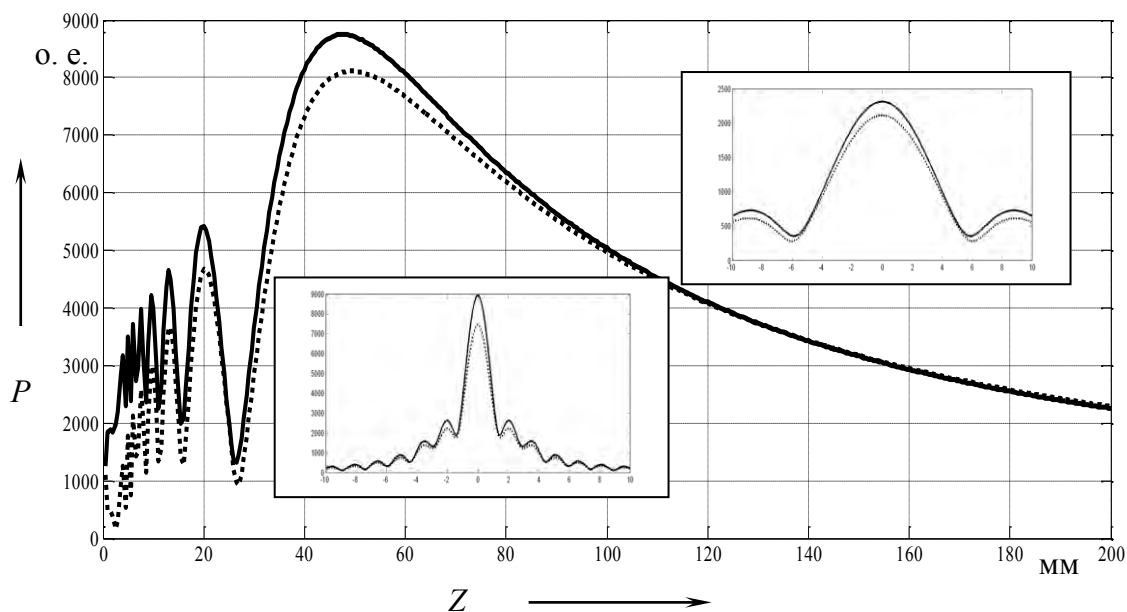


Рис. 1. Зависимости акустического давления вдоль оси круглой пьезопластины активного гиперболоидного (сплошная линия) и эллипсоидного (пунктирная линия) концентраторов диаметром 10 мм

На рис. 1 приведены результаты расчета изменения величины акустического давления P вдоль оси круглой пьезопластины от расстояния Z до пьезопластины. На этом рисунке и на вставках к рисунку сплошными линиями приведены результаты расчета для гиперболоидного концентратора, а пунктирными – для эллипсоидного.

Параметры a и b гиперболы и эллипса выбирались такими, чтобы при диаметре пьезопластин 10 мм стрелка прогиба составляла 0,5 мм.

На вставке рис. 1 (слева) приведено распределение акустического давления в плоскости, перпендикулярной оси пьезопластины в области фокуса, который расположен для гиперболоидного концентратора на расстоянии 47 мм от вершины гиперболоида, а на правой вставке рис. 1 – в плоскости на расстоянии 200 мм. Расчеты приведены для непрерывного режима работы пьезопреобразователей на частоте 5 МГц, нагруженных на воду. Видно, что для обоих концентраторов наблюдается ближняя и дальняя зоны. При этом, фокусное расстояние для обоих концентраторов примерно одинаковое, а распределение давления в плоскостях, перпендикулярных оси пьезопластин как в фокальной области, так и в дальней зоне, носит одинаковый характер с небольшой разницей по амплитуде давления. Диаметр акустического пучка по уровню половинной амплитуды составляет 1,8 мм в области фокуса и 6,6 мм на расстоянии 200 мм от пьезопластины.

Аналогичные результаты расчета акустического давления для активных концентраторов с теми же параметрами параболы и эллипса, но для пьезопластин диаметром 15 мм приведены на рис. 2.

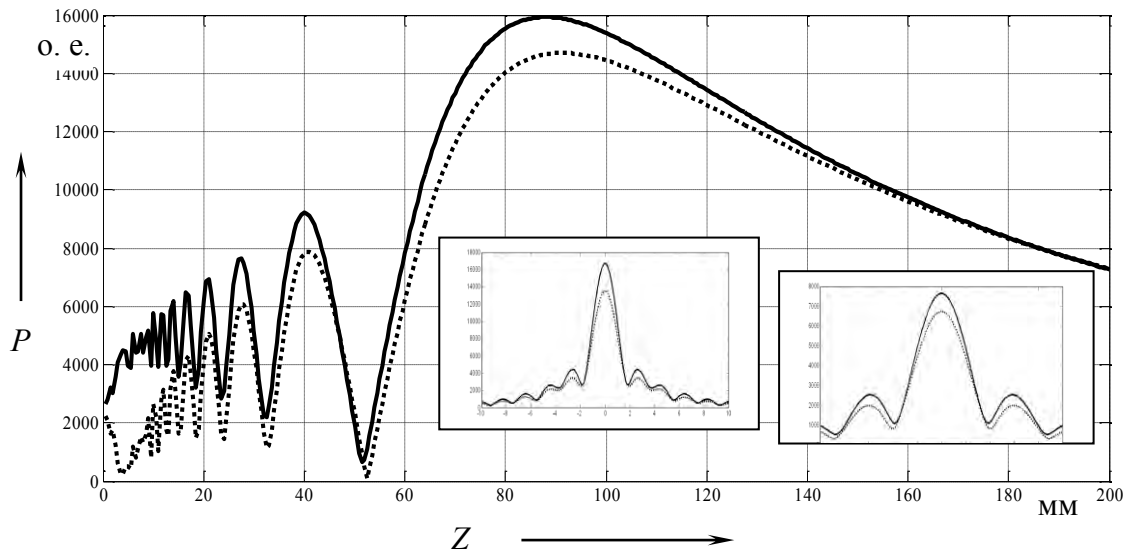


Рис. 2. Зависимости акустического давления вдоль оси круглой пьезопластины активного гиперболоидного (сплошная линия) и эллипсоидного (пунктирная линия) концентраторов диаметром 15 мм

На вставке рис. 2 (слева) приведено распределение акустического давления в плоскости, перпендикулярной оси пьезопластины в области фокуса, который расположен для гиперболоидного концентратора на расстоянии 89 мм от вершины гиперболоида, а на правой вставке рис. 2 – в плоскости на расстоянии 200 мм.

Из рис. 2 видно, что характер изменения акустического давления для обоих типов пьезопластин носит аналогичный характер как и для пьезопластин диаметром 10 мм. Диаметр акустического пучка по уровню половинной амплитуды составляет 2,3 мм в области фокуса и 4,9 мм на расстоянии 200 мм от пьезопластины.

Четкое отличие наблюдается только в том, что при увеличении диаметра пьезопластины фокусное расстояние пьезопреобразователя увеличивается. Так для круглого гиперболоидного пьезопреобразователя с диаметром пьезопластины 22,5 мм фокусное расстояние уже равно 160 мм.

Таким образом, проведенный анализ акустического поля излучения фокусирующих гиперболоидных и эллипсоидных пьезоэлектрических преобразователей показал, что в дальней зоне пространственное распределение поля практически одинаковое для обоих типов преобразователей, и некоторое отличие наблюдается только в ближней зоне на небольшом расстоянии от поверхности пьезопластины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурвич, А. К. Справочные диаграммы направленности искателей ультразвуковых дефектоскопов / А. К. Гурвич, Л. И. Кузьмина. – Киев : Техніка, 1980. – 101 с.
2. Неразрушающий контроль: в 5 кн. Акустические методы контроля :

практ. пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; под ред. В. В. Сухорукова. – М. : Высш. шк., 1991. – 283 с.

3. **Борисов, В. И.** Тонкая структура акустического поля излучения прямоугольных пьезопластин / В. И. Борисов, С. С. Сергеев, А. С. Никитин // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2014. – № 2 (43). – С. 105–113.

4. **Борисов, И. И.** Тонкая структура акустического поля излучения пьезопреобразователей на основе круглых пьезопластин / И. И. Борисов, С. С. Сергеев, А. С. Никитин // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2015. – № 3 (48). – С. 102–108.

5. Структура акустического поля излучения фокусирующих пьезопреобразователей / В. И. Борисов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2017. – № 1 (54). – С. 119–127.