

РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ОДНОМЕРНОЙ  
ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЕТКИ

В. И. БОРИСОВ, С. С. СЕРГЕЕВ, Е. Н. ПРОКОПЕНКО,  
С. А. ПРОКОПЕНКО  
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Могилев, Беларусь

Пьезопреобразователи на основе фазированных решеток начинают широко применяться в приборах акустического неразрушающего контроля, так как они позволяют перестраивать диаграмму направленности пьезопреобразователя, осуществлять его фокусировку в реальном масштабе времени, что дает возможность реализовать более информативные технологии контроля по сравнению с существующими [1]. Обычно для расчета акустического поля фазированных решеток используется теория дифракции света на оптических дифракционных решетках. При этом выполняются условия, когда период дифракционной решетки превышает длину волны дифрагирующего на решетке излучения и каждая точка волнового фронта в плоскости дифракционной решетки является источником сферической волны, что не в полной мере соответствует излучению акустических волн, так как элементарный излучатель акустических волн является косинусным.

В настоящей работе приводятся результаты прямого расчета акустического поля излучающего пьезопреобразователя в виде линейной фазированной решетки, содержащей 17 прямоугольных элементарных излучателей с периодом  $m=1$  мм, размерами  $a=0,5$  мм,  $L=15$  мм, нагруженных на воду, работающего в непрерывном режиме на резонансной частоте 1,5 МГц, что соответствует длине волны в воде 1 мм. Схема преобразователя приведена на рис. 1.

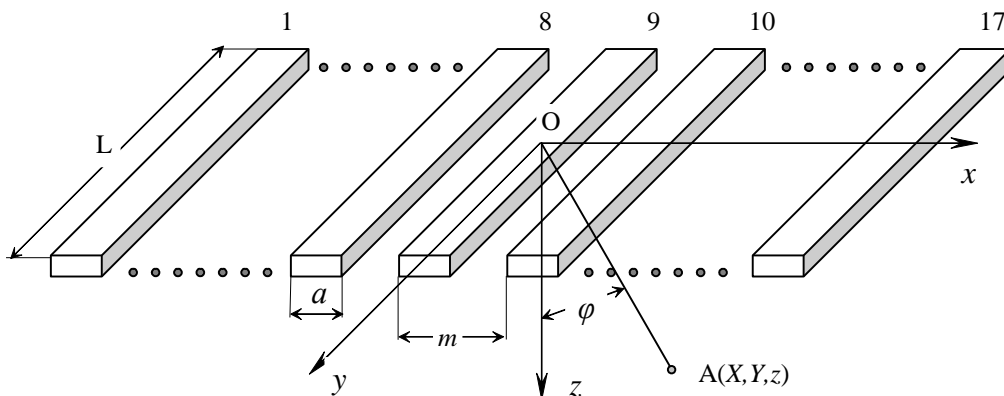


Рис. 1. Схема пьезопреобразователя в виде фазированной решетки

Результирующая сила давления в точке  $A$  с координатами  $X, Y, z$  будет определяться интегралом

$$F(X, Y, z) = \int_S \frac{P_0}{R} \cos \varphi (\cos(\omega t - kR - \psi)) dS, \quad (1)$$

где  $R$  – расстояние до точки  $A$  от элементарного излучателя площадью  $dS = dx dy$ , расположенного в точке с координатами  $x, y$ , излучающего сферическую акустическую волну частотой  $\omega$ ;  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – модуль волнового вектора (волновое число);  $\lambda$  – длина волны в материале среды, где распространяется акустическая волна;  $P_0$  – амплитуда акустической волны на единичном расстоянии от элементарного излучателя;  $S$  – общая площадь всех элементов фазированной решетки;  $\psi$  – угол сдвига фаз акустических волн на отдельных элементах фазированной решетки.

Сомножитель  $\cos \varphi$  учитывает наклон элементарной площадки к направлению на рассматриваемую точку  $A$ .

Расчет интеграла (1) осуществляется путем численного интегрирования, проводя замену интеграла суммой, которая после разделения временной и пространственных координат дает следующее выражение для амплитуды результирующей волны в точке  $A$ :

$$P(X, Y, z) = \sqrt{\left( \sum_1^N \frac{z}{R^2} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} R + \psi\right) \right)^2 + \left( \sum_1^N \frac{z}{R^2} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} R + \psi\right) \right)^2}. \quad (2)$$

Для получения более высокой достоверности результатов при расчете результирующей амплитуды акустической волны разбиение поверхности элементарных излучателей решетки необходимо проводить на площадки  $dS$  такого размера, чтобы разность расстояний от двух соседних площадок до рассматриваемой точки было значительно меньше длины акустической волны. Так по расчетам элементарные площадки были выбраны квадратными с размером стороны 50 мкм, что соответствует вышеуказанным требованиям.

На рис. 2 приведено распределение амплитуды результирующей волны  $P$  вдоль оси пьезопреобразователя на различных расстояниях  $z$  от плоскости решетки. Расчет проведен для случая равных амплитуд и отсутствия сдвига фаз акустической волны на каждом из прямоугольных элементов решетки.

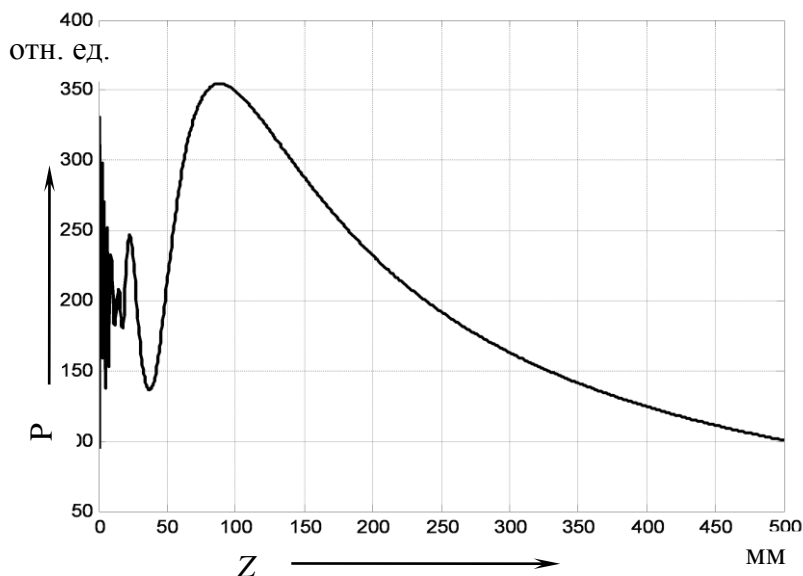


Рис. 2. Зависимость амплитуды результирующей волны вдоль оси пьезопреобразователя на различных расстояниях от решетки

Из рис. 2 видно, что при изменении расстояния от 0 до 86,5 мм наблюдаются осцилляции давления акустической волны, что соответствует ближней зоне пьезопреобразователя, а на расстояниях больше 86,5 мм, наблюдается монотонное уменьшение амплитуды результирующей акустической волны, что соответствует дальней зоне.

Из рис. 2 видно, что последний максимум на расстоянии 86,5 мм является наибольшим, а также последний минимум на расстоянии 37,8 мм самый глубокий минимум. На расстоянии от нуля до 37,8 мм от пьезопластины наблюдаются 7 максимумов и 6 минимумов, где акустическое поле носит резко неоднородный характер.

Характер изменения акустического поля в зависимости от сдвига фаз на соседних элементах фазированной решетки можно проследить на рисунке 3, на котором приведено распределение амплитуды результирующей акустической волны в дальней зоне на расстоянии 200 мм от решетки в осевой плоскости XOZ, перпендикулярной длинной стороне прямоугольных элементов решетки при увеличении величины сдвига фаз на соседних элементах от нуля до  $180^{\circ}$ .

Из рис. 3 видно, что наибольший максимум акустического поля смещается от оси пьезопреобразователя по мере увеличения сдвига фаз на различных элементах решетки, что соответствует отклонению акустической оси пьезопреобразователя от перпендикуляра к плоскости решетки. Наибольшее отклонение наблюдается при сдвиге фаз  $180^{\circ}$ , но при этом возникает дополнительный максимум, расположенный симметрично основному относительно оси пьезопреобразователя, как это видно на (рис. 3, д).

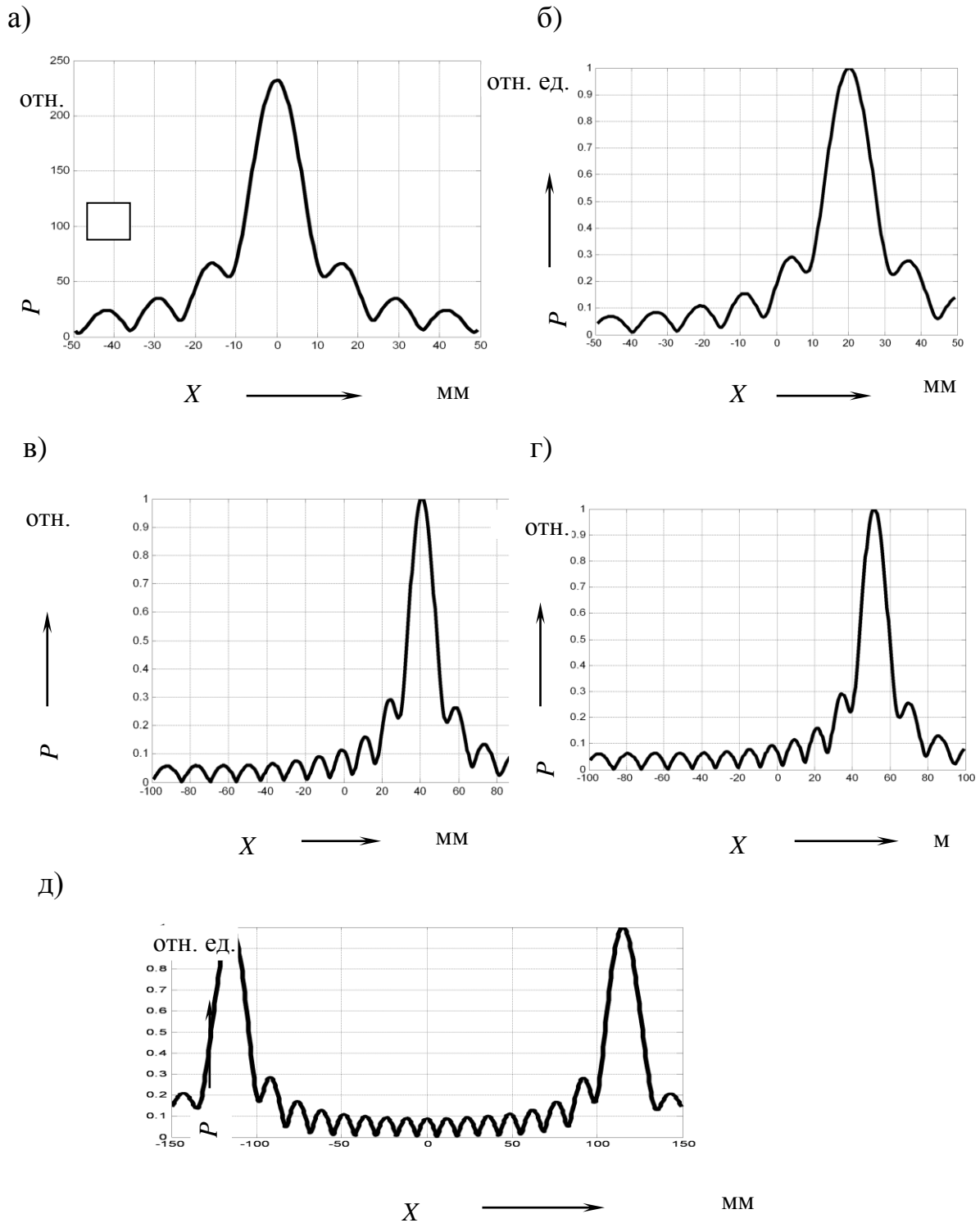


Рис. 3. Распределение амплитуды результирующей акустической волны в осевой плоскости фазированной решетки: а – соответствует нулевому сдвигу фаз; б –  $36^\circ$ ; в –  $72^\circ$ ; г –  $90^\circ$ ; д –  $180^\circ$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ермолаев, И. Н.** Неразрушающий контроль: практ. пособие в 5 кн. К. 2. Акустические методы контроля / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; под ред. В. В. Сухорукова. – М. : Высш. шк., 1991. – 283 с.