

Муравьева О. В.

ИжГТУ им. М. Т. Калашиникова, г. Ижевск

Леньков С. В., Мышкин Ю. В.

ФТИ УрО РАН, г. Ижевск

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОКУСИРОВКИ ВОЛН ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ТРУБОПРОВОДАХ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Предложена модель формирования фокусного пятна в трубе с использованием фазированной решетки на t_H -волнах. Исследованы зависимости параметров фокусного пятна и положения акустического фокуса от рабочей частоты и геометрических параметров трубы.

***Ключевые слова:** фокусировка, трубопровод, волны горизонтальной поляризации, фазированная решётка.*

Широкое использование фазированных решёток (ФР) в ультразвуковом (УЗ) неразрушающем контроле (НК) основано рядом их преимуществ в сравнении с одноэлементными преобразователями, в частности, возможностями фокусировки и углового сканирования, исследования труднодоступных областей объекта контроля (ОК). В последнее десятилетие ФР находят применение при реализации волноводного (*waveguided*) метода контроля трубопроводов с использованием волн различных типов – симметричных, антисимметричных, крутильных, t_H -волн горизонтальной поляризации. При этом возможна реализация эхо-метода, амплитудно-теневого и временно-теневого методов, а также метода обработки SAFT. Известно, что применение позволяет повысить чувствительность метода к обнаружению дефектов. В литературе [1] приведены частные результаты моделирования акустических полей ФР при фокусировке волн в волноводах с использованием метода конечных элементов в специализированной программе CIV4.

В работе представлены результаты исследования эффективности фокусировки волн горизонтальной поляризации в трубах различного диаметра, на различных частотах и фокусных расстояниях.

Формирование акустического фокуса на излучение с использованием многоэлементных ФР преобразователей осуществляется за счёт введения временных задержек зондирующих импульсов на каждый элемент ФР при помощи фазированного устройства и дальнейшего приёма импульсов с временными задержками. Управляя системой фазовых задержек в пределах одной ФР, возможно получение фокуса на различных расстояниях по образующей трубы. Последовательное переключение системы фазовых задержек от элемента к элементу позволяет осуществить сканирование с фокусировкой по образующей трубы. Таким образом, обеспечивается полное сканирование поверхности объекта контроля с фокусировкой.

Модель формирования акустического поля ФР t_H -волн в трубе представлена на рис. 1 и аналогична описанной в работе [2]. Считаем, что фазированный УЗ преобразователь представляет собой линейную антенную решётку, состоящую из N полосковых преобразователей шириной e каждый с зазором между ближайшими элементами g и периодом решётки p , имеющих слабо выраженную направленность в плоскости сканирования луча, равномерно распределённых по периметру трубы, диаметром D , и имеющих ширину апертуры πD . Модель основана на принципе суперпозиции акустических полей от каждого n -го элемента решётки с собственной диаграммой направленности с учётом фазовых сдвигов, обусловленных смещением отдельных элементов решётки относительно начала координат и фокусировкой. Функция направленности сосредоточенного источника для t_H -волн горизонтальной поляризации соответствует источнику типа горизонтальной сосредоточенной силы [3].

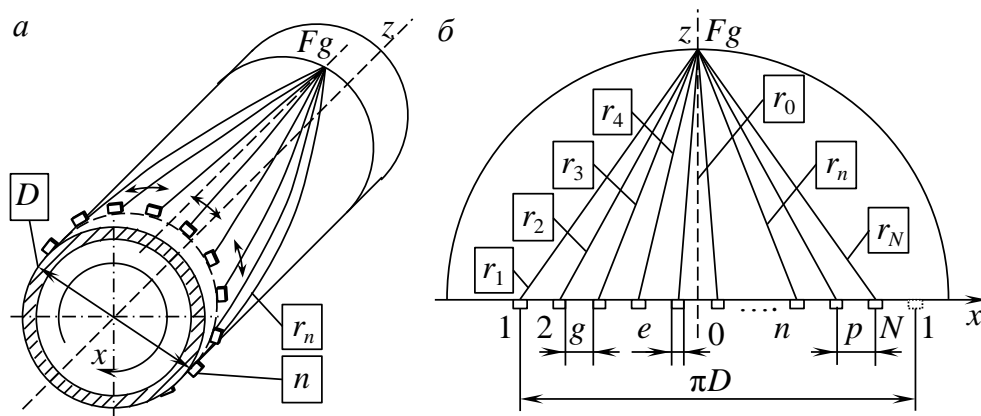


Рис. 1. Модель формирования акустического поля фазированной решётки t_H -волн в трубе – *a*;
 постановка задачи расчёта акустического поля в точке наблюдения М в виде развёртки
 трубы – *б*

Разработанное специализированное программное обеспечение для расчета акустических полей многоэлементных фазированных преобразователей различных типов позволяет рассчитывать различные типы распределения акустического поля (пространственного, по расстоянию, по углу). В качестве примера на рис. 2 представлено пространственное распределение по x и y и распределение по расстоянию R для фазированной решётки с фокусным расстоянием $Fg = 10$ м при диаметре трубы $D = 500$ мм, на частоте $f = 100$ кГц, при количестве элементов $N = 50$. Исследуются размеры фокусного пятна – протяженность l и радиус r по уровню 6 дБ от максимального значения (рис. 2, *a*), и положение акустического фокуса Fa (рис. 2, *б*).

На рис. 3 и 4 представлены зависимости размеров фокусного пятна l и r (рис. 3) и положения акустического фокуса Fa (рис. 4, *a*) от положения геометрического фокуса Fg в диапазоне 1–15 м для трубы диаметром 500 мм на частотах в диапазоне 10–100 кГц.

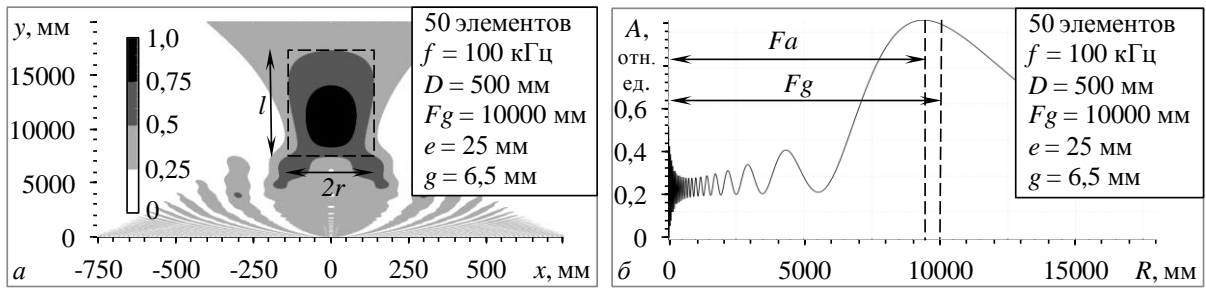


Рис. 2. К измерению размеров фокусного пятна $l, r - a$;
положения акустического фокуса $Fa - б$

Из рис. 3 видно, что наблюдается уменьшение диаметра фокусного пятна $2r$ в диапазоне от 100 мм до 1200 при увеличении частоты с 10 кГц до 100 кГц, при этом увеличивается протяженность фокусного пятна от 2 до 12 м при $Fg = 5$ м. При апертуре преобразователя 1500 мм следует ожидать улучшения чувствительности в 15 раз на высоких частотах. Чувствительность за счет фокусировки практически не улучшается при использовании частот ниже 30 кГц и на больших расстояниях.

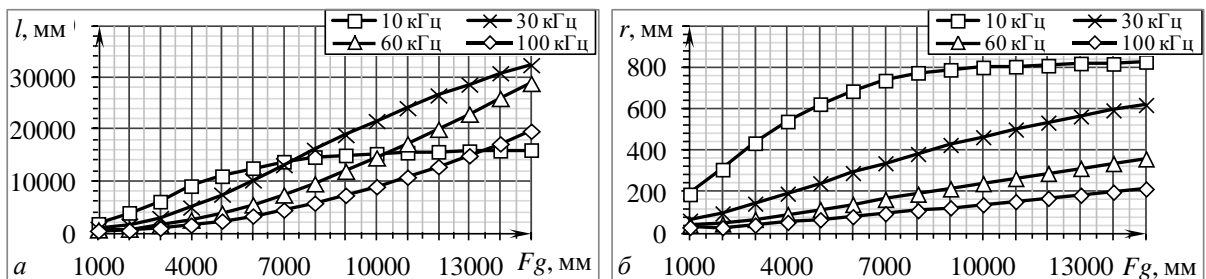


Рис. 3. Зависимость параметров фокусного пятна $l - a$ и
 $r - б$, от положения геометрического фокуса Fg

Рассмотрим коэффициент фокусировки K_{Φ} , определяемый отношением ближней зоны $N_{\text{Б}}$ эквивалентного плоского излучателя к положению геометрического фокуса Fg [3]: $K_{\Phi} = \frac{N_{\text{Б}}}{Fg}$.

Считается, что коэффициент K_{Φ} характеризует её эффективность – фокусировка тем лучше (меньшие размеры фокусного пятна, приближение акустического фокуса Fa к геометрическому Fg), чем меньше значение K_{Φ} .

Зависимости положения акустического фокуса Fa от геометрического Fg и коэффициента усиления K_{yc} от коэффициента фокусировки K_{Φ} представлены на рис. 4.

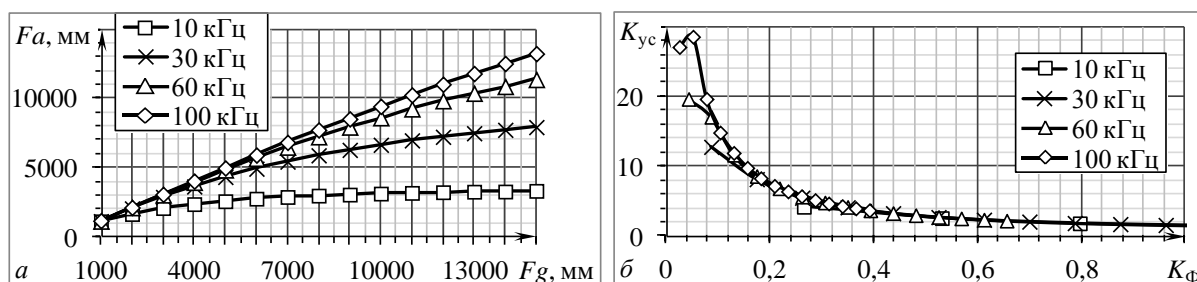


Рис. 4. Зависимости акустического фокуса Fa от геометрического Fg – а; коэффициента усиления K_{yc} от коэффициента фокусировки K_{Φ} – б

Видно, что акустический фокус не существенно отличается от геометрического на высоких частотах и малых расстояниях фокусировки и может отклоняться более чем в 3 раза от геометрического при $Fg = 15$ м и при $f = 10$ кГц. Коэффициент усиления, определяемый соотношением размера апертуры датчика к диаметру фокусного пятна, меняется в диапазоне от 30 до 1 при изменении K_{Φ} от 0 до 1 на частоте 100 кГц.

Таким образом, предложенная модель и исследованные закономерности формирования фокусного пятна в трубе с использованием фазированной решётки на t_H -волнах позволяют обосновать выбор рабочих частот, фазовых линий задержек, предельных расстояний фокусировки и возможностей повышения чувствительности в зависимости от геометрических параметров трубопровода.

Работа выполнена в соответствии с разделом 2 мероприятий Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИжГТУ им. М.Т. Калашникова» на 2012–2016 гг. (проект ПСР/М2/Н2.5/МВВ).

Литература

1. Phased-array focusing with longitudinal guided waves in a viscoelastic coated hollow cylinder / W. Luo, J. L. Rose, J. K. Van Velsor, J. Mu // Review of Quantitative Nondestructive Evaluation. 2006. Vol. 25. P. 869–876.
2. Муравьева О. В., Мышкин А. В. Моделирование акустических полей ультразвуковых секторных фазированных преобразователей // Медицинская техника. 2012. № 4 (274). С. 29–34.
3. Буденков Г. А., Недзвецкая О. В. Динамические задачи теории упругости в приложении к проблемам акустического контроля и диагностики. М. : Издательство физико-математической литературы, 2004. 136 с.