**Моделирование акустического поля ультразвукового фокусирующего излучателя в воздухе для определения оптимальной области сканирования методом акустической голографии**

## *Петров Е.А.1, Асфандияров Ш.А.2*

## *1студент, 2аспирант*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия  
E-mail:* [*petrov.ea21@physics.msu.ru*](mailto:petrov.ea21@physics.msu.ru)

Устройства генерации ультразвуковых (20 – 100 кГц) волн в воздухе широко распространены в промышленности. В последние годы активно исследуются многоэлементные воздушные ультразвуковые (УЗ) решетки, которые позволяют иметь больше контроля над создаваемым акустическим полем. В Лаборатории медицинского и промышленного ультразвука МГУ разработана многоэлементная спиральная фокусирующая решетка для создания высокоинтенсивных УЗ пучков в воздухе. Решетка представляет из себя сферический излучатель, имеет радиус кривизны 440 мм, апертуру 430 мм и состоит из 128 пьезокерамических преобразователей с центральной частотой излучения 35.5 кГц.

Одним из возможных методов характеризации акустического поля многоэлементных решеток является метод акустической голографии [1]. Метод заключается в измерении полной информации о волне (амплитуды и фазы) в определённой области сканирования, лежащей на плоскости, перпендикулярной оси излучателя и находящейся на некотором удалении (*z = d*) от излучателя. Измеренные данные позволяют произвести расчет акустического поля решетки на ее поверхности, а также расчет излучаемой акустической мощности по формуле [2]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

где c – скорость звука, – плотность среды, – угловой спектр акустической волны, – волновой вектор, – *k-*пространство углового спектра .

Угловой спектр акустического поля давления определяется по формуле:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2) |

Интегрирование в формуле 2 производится по бесконечной поверхности, в то время как сканирование поля производится по конечной поверхности, поэтому не вся информация о волне измеряется. Однако благодаря относительно узкой диаграмме направленности используемых пьезопреобразователей и фокусирующей геометрии решетки основная часть акустической энергии локализована в ограниченной области. Целью данного исследования является определение размеров этой области с помощью расчета и эксперимента для выбора оптимальной области сканирования в методе акустической голографии. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: произвести численное моделирование поля эквивалентного излучателя (излучателя со сравнимыми геометрическими размерами, создающим эквивалентное поле акустического давления в воздухе) и получить зависимость акустической мощности от площади моделируемой области сканирования, а также получить аналогичную зависимость из экспериментальных данных, выборкой ограниченного набора данных из заведомо большой выборки с большой областью сканирования.

В работе моделируется эквивалентный сферический излучатель с радиусом кривизны 445 мм и апертурой 420 мм. Для расчета акустического поля излучателя используется интеграл Релея [1]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

где – частота излучения, – плотность среды, – комплексная амплитуда нормальной компоненты колебательной скорости на поверхности решетки, – расстояние между элементом и точкой наблюдения . Рассчитывается поле в области, где происходит сканирование в настоящем эксперименте. Рассчитывается мощность акустического поля для разных площадей области сканирования.

На рис. 1 представлена оценка полной акустической мощности от площади голограммы в приближении плоской волны по имеющимся экспериментальным данным. Произведенная оценка показывает важность учета размера области сканирования, видно что зависимость не выходит на насыщение. Однако этот подход не совсем точен и поэтому требуется боле точный расчет по формулам, описанным выше.

|  |  |
| --- | --- |
| A graph with a blue line  Description automatically generated | |
| ***Рис. 1.*** Зависимость полной акустической мощности от площади голограммы в приближении плоской волны | |

В результате исследования была получена теоретическая и экспериментальная зависимость акустической мощности от площади области сканирования и была определена оптимальная площадь области сканирования методом акустической голографии для решетки, произведено сравнение результатов.

**Литература**

1. *Sapozhnikov O.A., Tsysar S.A., Khokhlova V.A., and Kreider W.* Acoustic holography as a metrological tool for characterizing medical ultrasound sources and fields. – J. Acoust. Soc. Am., 2015, v. 138, no.3, cc.1515–1532.
2. *Nikolaev D. A., Tsysar S. A., Khokhlova V. A., Kreider W., Sapozhnikov O. A.* Holographic extraction of plane waves from an ultrasound beam for acoustic characterization of an absorbing layer of finite dimensions – J. Acoust. Soc. Am., v. 149, no. 1, pp. 386–404.