

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК СИГНАЛОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АНТЕНН К ИССЛЕДОВАНИЮ ДВИЖУЩИХСЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Бурьков Д.В., Старченко И.Б.

*Таганрогский государственный радиотехнический университет, кафедра
ЭГА и МТ; 347922, Россия, Таганрог, Некрасовский, 44;
тел./ факс: (86344)6 - 17 - 95; E-mail: fep@tsure.ru.*

Параметрические антенны (ПА) представляют собой класс приборов интроскопии, использующий нелинейность среды распространения акустических сигналов, являющейся активной частью антенны (наряду с преобразователем накачки), в которой формируются ее пространственные характеристики (осевое распределение уровня звукового давления, диаграмма направленности, и др.) Преимущества использования ПА в различного рода исследованиях, в том числе и в биомедицинской сфере, делают ее весьма привлекательным, однако мало изученным в предлагаемом аспекте инструментом. Достоинства ПА [1] следующие: малые габариты, практически полное отсутствие боковых лепестков в диаграмме направленности в широком диапазоне разностных частот, относительная простота перестройки частоты, линейная АЧХ и др.

Ограничивающим фактором использования ПА в биомедицине являются большие интенсивности первичных волн накачки, необходимые для обеспечения процесса нелинейного взаимодействия: уровни первичных давлений волн накачки $p_{01,02}$ имеют порядок 10^5 Па и выше. Соответственно, интенсивность

$$I_{01,02} = p_{01,02}^2 / \rho c \approx (10^5)^2 / 1,5 \cdot 10^6 = 0,67 \text{ Вт} / \text{м}^2 = 0,67 \text{ Вт} / \text{см}^2.$$

Такие значения интенсивностей находятся на грани предельных для целей терапии [2] при условии работы в непрерывном режиме. Однако, если использовать короткоимпульсный режим, то применение ПА становится более обоснованным и безопасным для биообъекта. Если же проводить лабораторные исследования свойств биожидкостей, то ПА можно и нужно использовать. Такие исследования проводились российскими и зарубежными исследователями [3].

При работе ПА в среде образуется набор акустических сигналов с различными частотами: f_{01} , f_{02} - частоты первичных волн; $F_{-} = f_{01} - f_{02}$ - разностная частота, обычно являющаяся основной рабочей; $f_{+} = f_{01} + f_{02}$ - суммарная частота; $2f_{01}$, $2f_{02}$ - вторые гармоники частот накачки и др. Поскольку вышеперечисленные сигналы образуются в среде при работе ПА, то можно воспользоваться любыми из них, соответственно для различных целей. В данной работе предлагается использовать вторые гармоники первичных сигналов ПА по следующим причинам: во-первых, в ближней зоне уровень звукового давления второй гармоники превышает уровень сигнала накачки до расстояния порядка длины зоны затухания l_z , практически на порядок [4]; во-вторых, ширина диаграммы направленности второй гармоники на уровне 0,7 в ближней зоне в $\sqrt{2}$ раз уже диаграммы направленности по разностной частоте [4]; в-третьих, исследования биологических объектов в основном проводятся именно в ближней зоне, где вторые гармоники могут проявить свои преимущества.

Далее, биожидкости, например, кровь, находятся в постоянном движении, поэтому для изучения закономерностей их поведения, их акустических характеристик и распространения в них акустических сигналов, необходимо использовать уравнения движущихся жидкостей [5].

Очень часто биожидкости имеют неоднородный или гетерогенный состав: представляют собой смеси, взвеси и т.д. Для описания свойств таких жидкостей используют волновое уравнение для неоднородной среды [6].

Таким образом, суммируя вышесказанное предполагается следующая математическая модель параметрического излучателя в неоднородной движущейся среде. Составим следующее неоднородное волновое уравнение

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \text{grad}(\ln \rho) \text{grad}(p) + Q$$

где p - уровень звукового давления;

c - скорость звука в среде распространения;

t - время;

ρ - плотность среды распространения звуковых волн;

Q - добавка, учитывающая движение среды:

$$Q = 2 \left(\frac{\vec{u}}{c^2}, \nabla \frac{\partial p}{\partial t} \right) + \left(\frac{(\vec{u}, \nabla)(\vec{u}, \nabla p)}{c^2} \right),$$

где \vec{u} - вектор скорости движения среды.

Решая полученное уравнение методом последовательных приближений и выделяя интересующие компоненты сигнала, можно получить решение относительно уровня звукового давления p , на основе которого проводить анализ характеристик антенны и свойств биожидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Новиков Б.К., Руденко О.В., Тимошенко В.И. Нелинейная гидроакустика. Л., Судостроение, 1980, 254 с.
2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Под ред Голяминой И.П. М.: Сов. Энциклопедия. 1979. 400 с.
3. Кириченко И.А., Старченко И.Б. Особенности применения параметрических излучателей в эхоскопии внутренних органов человека. \\Сб. Трудов НТК «Медицинские информационные системы». Таганрог. 1996.
4. Старченко И.Б. Исследование и внедрение гармоник исходных сигналов параметрических антенн при наличии границ и объектов в области нелинейного взаимодействия. Автореферат диссерт. на соискание ученой степени канд. техн. наук. 1996. 18 с.
5. Блохинцев Д.И. Акустика неоднородной движущейся среды. М.: Наука. 1981. 208 с.
6. Скучик Е.. Акустика. Т.1. М.: Мир. 1979.