



УДК 534.222

RADIATING PARAMETRIC ACOUSTIC ARRAY FOR THE STUDY OF SOME CHARACTERISTICS OF AIR ENVIRONMENT**ИЗЛУЧАЮЩАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ АНТЕННА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУШНЫХ СРЕД****Voronin V.A./ Воронин В.А.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.***Kazakova E.A./ Казакова Е.А.***Postgraduate***Snesarev S.S./ Снесарев С.С.***lecturer**Southern Federal University, Institute of Nanotechnologies, Electronics and Equipment Engineering, Taganrog, Shevchenko 2, 347900*

Аннотация. В статье рассматривается многочастотный локационный метод исследования некоторых характеристик воздушной среды с использованием параметрической антенны. Для реализации параметрической антенны предлагается использовать в качестве преобразователей в антенне накачки высокочастотные громкоговорители с высокой чувствительностью в режиме излучения. На основе обзора литературных источников анализируются характеристики рассматриваемой антенны. Рассмотрены теоретические описания процесса взаимодействия акустических волн в канале распространения на основе нелинейного уравнения. Определены основные преимущества использования параметрической антенны для мониторинга приземного слоя атмосферы. Показано, что применение параметрических антенн для оценки состояния слоя атмосферы является наиболее эффективным по сравнению с другими методами.

Ключевые слова: параметрическая антенна, атмосфера, многочастотный метод, антенные решетки, нелинейная среда, характеристика направленности, акустические локаторы, диаграмма направленности.

Вступление. Атмосферная акустика получила широкое распространение для измерений параметров воздушных сред [1 - 7]. При распространении акустических волн в воздухе они взаимодействуют со всеми процессами, происходящими в нем, так как эти процессы изменяют физическое состояние среды распространения и влияют на его параметры.

В последнее время обрели высокую популярность акустические приборы для определения параметров воздушных масс, таких как скорость и направление ветра, распределения температуры, изменения влажности и других характеристик [1-3]. Исследования варьируются в зависимости от условий распространения звука в атмосфере [1-2] и от параметров измерительных приборов и систем. Результаты измерений и их погрешности зависят от частотного диапазона применяемых акустических колебаний, так как в воздушной среде распространение волн и характеристики приборов воздушной акустики в значительной степени зависят от параметров среды.

Основной текст. В излучающих и приемных системах изменяются уровень боковых лепестков и ширина характеристики направленности, потому



что сильно зависят от температуры, влажности, атмосферного давления, скорости распространения акустических волн, их затухание и эти изменения происходят по трассе распространения волн [8].

Поскольку в воздушной среде ослабление акустических волн на низких частотах невелико, основными недостатками содарных систем являются большие размеры узконаправленных антенных систем и сильно выраженная зависимость ширины характеристики направленности от частоты, приводящая к разным объемам рассеяния при различной частоте и наличие боковых лепестков приводит к неоднозначности измерений параметров атмосферы в разных слоях.

В параметрических антеннах излучение осуществляется антенной накачки на достаточно высоких частотах, а колебания рабочих частот происходят в среде из-за нелинейного взаимодействия волн накачки в канале распространения. В конечном итоге, параметрическая антенна имеет такие характеристики, как узкую характеристику направленности, не зависящая от частоты излучения, малый размер антенной системы, так как излучение проводится при частоте накачки, широкий диапазон излучаемых частот. Заметим, что основными недостатками такой виртуальной антенны являются сильная зависимость уровня излучаемых волн от частоты и параметров взаимодействия в изменяющейся атмосфере.

Для устранения подобных зависимостей необходимо использовать излучающую параметрическую антенну. Направленность такой антенны одинакова на всех излучаемых разностных частотах, боковые лепестки почти отсутствуют, а размеры подобных систем в десятки раз меньше, чем у традиционных акустических локаторов, благодаря чему, появляется возможность устанавливать на передвижных носителях. Зависимость ширины характеристики направленности от частоты показана на рисунке 1 (Рисунок 1). Расчеты выполнялись для средней частоты накачки 25 кГц. Кривые 1, 2, 3 соответствуют ширине характеристик на уровне -10, -6 и -3 дБ от максимума. Диаграмма направленности, измеренная на частоте 3 кГц, показана на рисунке 2 (Рисунок 2).

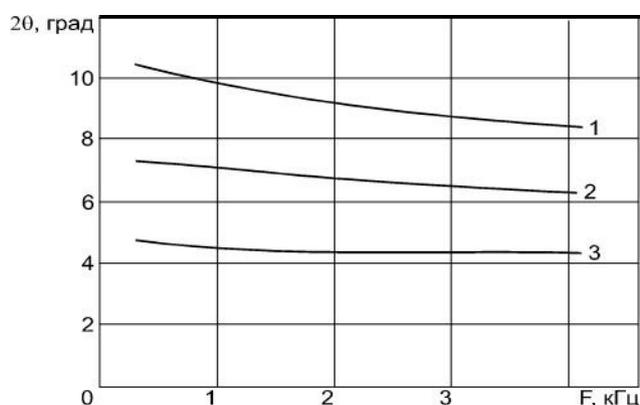


Рисунок 1. Зависимость ширины характеристики направленности от рабочей частоты.

Источник [3,4]

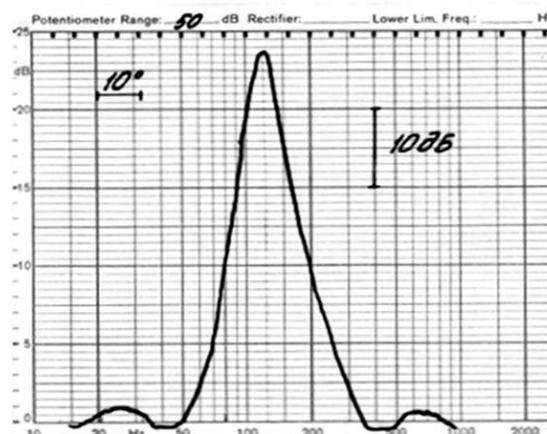


Рисунок 2. Диаграмма направленности на частоте 3 кГц.



Прежде считалось, что эффективность взаимодействия акустических волн в воздухе мало эффективна из-за небольшого нелинейного параметра среды и высокого затухания акустических волн в воздухе. [4]. Однако, учитывая процессы нелинейного взаимодействия волн, можно сказать обратное.

Рассмотрим теоретические описания процесса взаимодействия акустических волн в канале распространения на основе решения уравнения Хохлова-Заболотской-Кузнецова [1,2]. Процесс воспроизведения вторичных волн описывается неоднородным волновым уравнением (1):

$$\Delta P - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = - \frac{\varepsilon}{c_0^4 \rho_0} \frac{\partial^2 (P_0^2)}{\partial t^2} \quad (1)$$

где ε - нелинейный параметр; P - звуковое давление; c_0 и ρ_0 - скорость звука и плотность среды; z - координата вдоль распространения волны; P_0 - звуковое давление волн накачки;

Правая часть волнового уравнения описывает виртуальные источники, образованные взаимодействием (самовоздействием) первичных волн (волны накачки). Вторая производная по времени от квадрата звукового давления волн накачки описывает амплитуды и спектральный состав генерируемых волн, а коэффициент перед производной эффективность генерации вторичных волн. Однако, параметры среды, которые входят в этот коэффициент для воздушной среды и водной среды при равных значениях амплитуд волн накачки различны. Для сравнения примем нелинейный параметр для воды = 3,5, а для воздуха = 1,2 и скорости звука в воде и воздухе равными 1500 и 340 м/с, а плотность 1000 и 1,29 кг/м³.

В конечном счете, для воды этот коэффициент имеет порядок значения 10^{-12} , а для воздуха - 10^{-7} , значит в воздушной среде амплитуда виртуальных источников на 5 порядков превышает таких же в воде. Из чего можно заключить, что генерация вторичных волн в воздушной среде в точке происходит в значительной степени эффективнее, чем в воде. Можно сравнить эффект накопления результатов взаимодействия по мере распространения при прохождении волнами расстояния равного одинаковым количеством длин волн. Разные длины взаимодействующих волн, разные соотношений частот генерируемых и взаимодействующих волн, разные значения затухания не приводят к существенному изменению соотношения эффективности генерации волн в воде и воздухе [7]. Из этого следует вывод, что появляется возможность эффективно воспроизводить акустические волны низких частот в воздухе и использовать их для создания метеорологических локаторов с уникальными характеристиками.

Рассмотрим, в качестве примера, применение акустических антенн для построения локаторов с целью определения распространения влажности и температуры воздуха в приземном слое атмосферы.

Ранее были проведены исследования поглощения звука в атмосфере показали сильную ее зависимость от температуры и влажности воздуха [1,5,7,8]. Экспериментальные исследования показали, что измеренные величины на один-два порядка превышают предсказанные теорией значения



для коэффициентов классического поглощения, зависящего от вязкости и теплопроводности воздуха, описываемые известной формулой Стокса-Кирхгофа [1]. Чрезмерное поглощение связано с процессами колебательной релаксации молекул воздуха.

На рисунке 3 (Рисунок 3) приведены, экспериментально полученные данные, зависимости коэффициента поглощения звука в атмосфере при нормальном атмосферном давлении и температуре 20°C от относительной влажности [2]. Коэффициент затухания имеет сильную зависимость от частоты и влажности, в результате чего, можно построить систему дистанционного измерения влажности.

Стоит еще раз еще раз подчеркнуть, что в подобных системах измерений используются традиционные акустические антенны. В них рассеивающий объем зависит от длительности импульса зондирования и от ширины характеристики направленности. При этом изменение частоты в пять раз приводит к изменению рассеивающего объема в двадцать пять раз, что необходимо корректировать при измерениях.

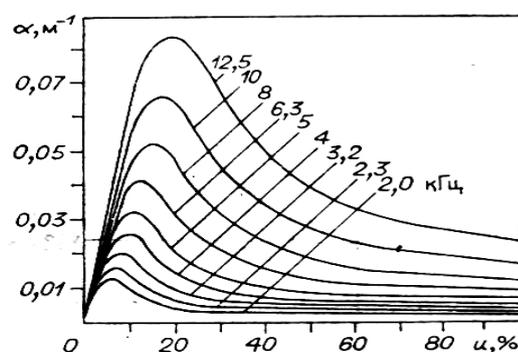


Рисунок 3. зависимость коэффициента поглощения звука от влажности при различных частотах.

Источник [2]

Заключение и выводы.

В статье рассмотрен многочастотный локационный метод исследования некоторых характеристик воздушной среды с использованием излучающей параметрической антенны.

Параметрическая антенна обладает уникальными свойствами и создает свое формирование сигнала на разностной частоте. Применяя различные комбинации частот получим инструмент для измерения характеристик воздушной среды (влажности, температуры, скорости и направления ветра и т.д.).

В результате можно сделать вывод, что для исследования характеристик воздушной среды эффективнее использовать акустические локаторы с излучающей параметрической антенной. Поскольку направленность излучающей антенны одинакова на всех излучаемых разностных частотах, боковые лепестки практически отсутствуют, а размеры подобных систем в десятки раз меньше, чем у традиционных акустических локаторов, благодаря



чему, появляется возможность устанавливать на передвижных носителях, тем самым повышая мобильность систем и точность измерений.

Рассмотрены теоретические описания процесса взаимодействия акустических волн в канале распространения на основе нелинейного уравнения. Выявлено, что генерация вторичных волн в воздухе в точке происходит значительно эффективнее, чем в воде.

В качестве наглядного примера представлены экспериментальные результаты зависимости коэффициента поглощения от влажности при различных частотах.

Можно отметить, что максимум поглощения имеет место при довольно низкой относительной влажности (10-20 %), а так же поглощение сильно возрастает при увеличении частоты.

Так как коэффициент затухания имеет сильную зависимость от влажности и частоты, то можно построить систему дистанционного измерения влажности с применением излучающей параметрической антенной. В подобной системе рассеивающий объем не будет зависеть от ширины характеристики направленности и длительности импульса зондирования.

Литература:

1. Куличков С.Н. Нелинейная генерация низкочастотной компоненты при распространении в атмосфере интенсивной модулированной звуковой волны. Физика атмосферы и океана. 1979, Том 15, № 4. С. 384-391.

2. Красненко Н.П. Акустическое зондирование атмосферы. – Новосибирск: Наука, 1986. – 166 с.

3. Воронин В.А., Кузнецов В.П., Мордвинов Б.Г., Тарасов С.П., Тимошенко В.И.. Нелинейные и параметрические процессы в акустике океана. – Ростиздат. Ростов-на-Дону. 2007. – 448 с.

4. Воронин В.А, Тарасов С.П., Тимошенко В.И.. Гидроакустические параметрические системы. – Ростов-на-Дону: Ростиздат. 2004. – 400 с.

5. Воронин В.А., Воронин А.В.. Особенности взаимодействия акустических волн в воздушной реде. Инженерный вестник Дона, 2015. №4.

6. Knudsen V.O. The absorption of sound in air, in oxygen and nitrogen-effects of humidity and temperature. – J. Acoust. Soc. America, 1933, v. 5, p. 112 – 121.

7. Evans L. B., Bass H. E., Sutherland L. C. Atmospheric absorption of sound: theoretical predictions. – J. Acoust. Soc. America, 1972, v. 51, N 5, Part 2, p. 1565 – 1575.

8. Harris C.M. Absorption of sound in air versus humidity and temperature. - J. Acoust. Soc. America, 1966, v. 40, N 1, Part 2, p. 148 – 159.

References:

1. Kulichkov S.N. Nonlinear generation of the low-frequency component during the propagation of an intense modulated sound wave in the atmosphere. Physics of the atmosphere and the ocean. 1979, Vol. 15, No. 4. S. 384-391.

2. Krasnenko N.P. Acoustic sounding of the atmosphere. - Novosibirsk: Science, 1986. - 166 p.

3. Voronin V.A., Kuznetsov V.P., Mordvinov B.G., Tarasov S.P., Timoshenko V.I. Nonlinear



and parametric processes in ocean acoustics. - Rostizdat. Rostov-on-Don. 2007. 448 p.

4. Voronin V.A., Tarasov S.P., Timoshenko V.I. Hydroacoustic parametric systems. - Rostov-on-Don: Rostizdat. 2004. - 400 p.

Abstract. The article deals with the multi-frequency radar method for studying some of the air environment characteristics using parametric array. To implement the parametric antenna, high-frequency loudspeakers with high sensitivity in radiation mode can be used as transducers in pump antennas. Based on the review of literature sources and conducted research using various pump frequencies of a parametric antenna, the characteristics of considering antenna are analyzed. Theoretical descriptions of the interaction of acoustic waves in the propagation channel on the basis of a nonlinear equation are considered. It is revealed that the generation of secondary waves in air at a point is much more effective than in water. It is shown that the use of parametric antennas for estimating the state of the atmospheric layer is the most effective in comparison with other methods.

Key words: parametric antenna, atmosphere, multifrequency method, antenna arrays, nonlinear medium, directivity, acoustic locators, directivity pattern.

Статья отправлена: 13.10.2018 г.