

# СРАВНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Панченко А. Ю., Слипенченко Н. И., Лю Чан  
Харьковский национальный университет радиозлектроники  
г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина  
тел.: 0989816727, e-mail: panchenko-a-yu@yandex.ru

*Аннотация* — В докладе рассматриваются физические отличия условий распространения электромагнитных и акустических волн в АПС и связанные с этим отличия теоретических основ создания методик выделения информации при радиолокационном и акустическом зондировании атмосферы.

## I. Введение

Размеры атмосферы, как объекта контроля, не позволяют с помощью прямых, контактных методов получить полную информацию о ее состоянии. Локационные методы также дают лишь косвенную, частичную информацию, и не могут удовлетворить многих потребностей. В значительной степени это обусловлено тем, что методы обработки первичной информации локационных систем еще не достигли необходимого совершенства. При весьма совершенных методиках обработки сигналов, развитых в основном благодаря радиолокации, это связано с нерешенными задачами в области физических особенностей распространения волн и связи их с метеорологическим состоянием. Метеорологические радиолокаторы, локаторы ясного неба (windprofiler) определяют размеры и форму неоднородностей, скорость их движения. О составе судят лишь по косвенным признакам. Недостающую информацию можно дополнить с помощью тепловой пассивной локации, но это тоже лишь частичное решение. Кроме того, радиолокационные методы имеют сравнительно низкую разрешающую способность. Лазерная локация требует наличия аэрозольей. Но с другой стороны ее применение ограничивается туманами. Хорошим дополнением к локации с помощью электромагнитных волн может служить акустическая локация. Акустические волны во много раз чувствительней к изменениям параметров воздуха и принятый сигнал содержит значительное количество информации. При современном уровне развития компьютерной техники ограничения акустических методов во многом обусловлены несовершенством теоретических представлений.

## II. Основная часть

Первичная информация, получаемая при локации естественных сред, состоит в величине комплексных значений спектральных компонент принятого сигнала и области пространства, откуда поступил этот сигнал. Далее вычисляются требуемые параметры. При зондировании атмосферы это метеопараметры.

В теоретических основах радиолокации, развивавшихся, в основном, для решения оборонных задач и локации искусственных объектов, взаимодействие электромагнитного поля с атмосферой рассматривалось с позиций анализа и подавления помех от распределенных целей. Тем не менее, сравнительно простые механизмы взаимодействия электромагнитного поля с неоднородностями диэлектрической проницаемости воздуха позволяют быстрыми темпами развивать метеорологическую радиолокацию.

Физические процессы взаимодействия с атмосферой акустических волн по сравнению с электромагнитными, значительно сложнее. Затухание, нелинейность, дисперсия у акустических волн существенно выше, что не позволяет использовать простые линейные модели. Поэтому традиционные методы выделения информации, разработанные для радиолокации, могут иметь лишь ограниченное применение. У акустических локаторов (содаров) диапазон высот и расстояний существенно меньше, чем у радиолокаторов, но разрешающая способность выше. Поэтому содары оптимальны для локации атмосферного пограничного слоя (АПС). А динамика АПС наиболее сложна и многие ее механизмы до настоящего времени не имеют математического описания, которое бы удовлетворяло нуждам практики.

Одна из основных проблем при локации атмосферы состоит в низком уровне отраженного сигнала. Это определяется малым изменением волновых сопротивлений электромагнитных —  $\rho_z$ , и акустических волн —  $\rho_a$ . Но в большей степени это определяется непрерывностью изменений  $\rho_z$  и  $\rho_a$  в пространстве и малым значением этих изменений на участках сравнимых с длиной зондирующей посылки. Ограничение на ее длину накладывает требование сохранения разрешающей способности, особенно значимое при зондировании АПС. Частично эту проблему решают адаптивные методы зондирования, которые можно реализовать современными средствами. В частности, в радиолокации возможно применение широкополосных и сверхширокополосных зондирующих сигналов, адаптированных к структуре атмосферных неоднородностей. В акустической локации физические свойства воздуха (прежде всего нелинейность акустических волн большой мощности) и современные технические средства формирования звуковых посылок делают этот вариант по совокупности качеств невыгодным. Поэтому для зондирования АПС необходимы с одной стороны узкополосные сигналы, а с другой — короткие посылки.

В среде с непрерывным изменением  $\rho_a$  принятый сигнал пропорционален  $u \sim \int_0^{t_3} U(t) \cdot K[0,5c_0(t_3 - t)] dt$ ,

где  $U(t)$  — зондирующий сигнал,  $K$  и  $c_0$  — коэффициент отражения и средняя скорость звука в области занятой посылкой,  $t_3$  — длительность посылки. В частности, при изменении температуры воздуха  $K=0,25\Delta T/T_0$ , где  $T$  — абсолютная температура. Поэтому, даже при значительных градиентах температуры в АПС, и с использованием модуляции сигнала зондирующей посылки  $u \sim U \cdot 10^{-7}$ . (К примеру, если полное изменение температуры в АПС сосредоточить в тонком слое, то уровень отражения был бы  $\sim 10^{-3}$ .) Применение модуляционных принципов, которое все шире используются, особенно в последних разработках содаров, несколько улучшает ситуацию. Но при этом сказывается отставание теоретических представлений о распространении сложных акусти-

ческих сигналов, поэтому оценка эффективности тех или иных решений требует тщательной экспериментальной проверки в различных условиях.

На последнем этапе обработки локационной информации сказывается ограниченность современного математического аппарата теории сложного, турбулентного, движения среды, который адаптирован под описание результатов непосредственных экспериментов. Процессы зарождения и диссипации турбулентности освещены слабо. А ряд упрощений, в частности, приближение бездивергентной турбулентности длительное время доминировало в теории акустического зондирования АПС. Данное упрощение с высокой степенью точности допустимо при оценке самого движения воздуха [1]. Но турбулентному движению, в котором скорость частицы постоянно меняется, неизбежно сопутствуют флуктуации давления и плотности, а значит волновых сопротивлений  $\rho_v$  и  $\rho_a$ , от которых происходят отражение волн [2]. В радиолокации сосредоточенных целей такие отражения могут быть отнесены только к помехам. Но в метеолокации и, особенно, в акустической они являются источником информации.

Принципиальные отличия между взаимодействием акустических и электромагнитных волн с атмосферным воздухом, обусловлены еще и тем, что движение акустических волн происходят вместе с движением среды. Это существенно влияет на формирование доплеровского сдвига частоты [3]. Электромагнитные волны не участвуют в движении среды, и все параметры частотного сдвига определяют движением неоднородности и ее пространственной трансформацией. Последняя влияет на фазовые соотношения при суммировании отраженного поля. Но в радиолокации это влияние сравнительно невелико, неоднородности с высокой степенью точности можно считать «замороженными», так как отношение скорости распространения электромагнитных волн к скорости пульсаций ветра составляет  $\sim 10^{-7}$ . Для акустических волн отличие составит всего  $\sim 10^{-1} \dots 10^{-2}$ . Поэтому значительный вклад вносят флуктуации градиентов температуры и полного вектора скорости ветра в области занятой зондирующей посылкой и непосредственно прилегающей к ней. Но наибольшее отличие физических механизмов обусловлено тем, что акустические волны движутся вместе со средой, в которую включена неоднородность. Поэтому в области взаимодействия поля волн с неоднородностью их взаимное движение, кроме собственно волнового, отсутствует. Изменение длины акустических волн падающего и отраженного полей определяется поперечным движением среды на трассе распространения. Таким образом, даже в приближении однократного рассеяния, флуктуации сдвига частоты акустического сигнала, который является источником информации при определении скорости ветра, формируются более сложно, чем электромагнитного. На них влияет динамика среды на трассе, ширина диаграммы направленности антенн, поперечные составляющие вектора скорости ветра и другие факторы.

### III. Заключение

Представленные в докладе результаты качественного анализа физических аспектов взаимодействия акустических волн с неоднородной движущейся средой, отличия между взаимодействием акусти-

ческих и электромагнитных волн, позволяют оценить направления и перспективность путей дальнейшего увеличения количества информации, полученной при акустическом зондировании АПС. При использовании современной элементной базы и компьютерной техники они позволят повысить ценность содаров, как средства регулярных метеонаблюдений.

### IV. Список литературы

- [1] Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика. Ч.1. М.: Наука, 1965. 640с. Ч. 2. 1967. 720с.
- [2] Панченко А. Ю. К оценке интенсивности рассеянных акустических волн в АПС при отсутствии источников тепла на поверхности // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2011. Вып. 164. С. 53-57.
- [3] Панченко А. Ю. Анализ физических факторов, формирующих параметры отраженного сигнала при акустическом зондировании атмосферного пограничного слоя // Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2010. Вып. 160. С. 184-188.

## COMPARISON OF RADAR AND ACOUSTIC METHODS FOR ATMOSPHERE SOUNDING

Panchenko A. Yu., Slipchenko N. I., Chang Liu  
*Kharkov National University of Radioelectronics*  
14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine  
Ph.: 0989816727, e-mail: panchenko-a-yu@yandex.ru

*Abstract* — Difference between theoretical foundations of creating the methods for information separation at radar and acoustic atmosphere sounding is considered in the report.

### I. Introduction

The atmosphere dimensions as an object for control do not make it possible to use direct contact measurement methods. Indirect location methods ensure only partial information. This is associated with physical particularities of waves propagation and imperfection of methods for information separation. At present the computer technique makes it possible to process the great volumes of data, therefore the limitations in many respects are stipulated by imperfection of theoretical representations. This is particularly true for the acoustic methods.

### II. Main Part

The initial data obtained at natural media location consists in the amount of complex values of received signal spectral components and the space area from which this signal arrived. Further, it follows the separation process for information concerning necessary parameters of the area being investigated. These are meteorological parameters in the case of the atmosphere sounding. The information separation is based on the known theoretical interconnections in the object itself and the wave field interaction with it. Acoustic waves as compared to electromagnetic waves are far more sensitive to the atmosphere air parameters variation. However, physical processes of acoustic and electromagnetic waves interaction inhomogeneous moving medium differ essentially. In many cases, the acoustic location uses the traditional methods of the information separation developed for radio detection and ranging. Fundamental differences between interaction of acoustic and electromagnetic waves with the atmosphere air are considered in the report. This acts significantly on the Doppler frequency shift and level of the received signal at different ABL state. The ways of meteorological information separation perfection at the atmosphere boundary layer acoustic sounding are indicated.

### III. Conclusion

The ways of the acoustic sounding informativity rising are considered in the report. They will make it possible to raise the sodars value as means for regular meteorological observations, when using the modern elemental base and computer technique.