

## ПАССИВНАЯ ЛОКАЦИЯ ПЯТНА РАССЕЯННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ РАДИОАКУСТИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ АТМОСФЕРЫ

*В.М. КАРТАШОВ, С.И. БАБКИН, Е.Г. ТОЛСТЫХ*

Рассмотрена новая для технологий радиоакустического зондирования атмосферы методика — пассивная радиолокация пятна рассеянных сигналов, сфокусированного сферическими волновыми фронтами акустического пакета. Предложен оригинальный способ измерения скорости горизонтального ветра и его направления с помощью рассматриваемой методики зондирования. Теоретически оценена относительная среднеквадратическая погрешность измерения модуля горизонтальной скорости ветра.

*Ключевые слова:* радио, акустика, антенна, зондирование, атмосфера, измерение, погрешность.

### ВВЕДЕНИЕ

Радиоакустическое зондирование (РАЗ) атмосферы как метод дистанционного получения метеорологической информации и, особенно, технические средства, реализующие этот метод, развиваются по различным направлениям в зависимости от прикладных задач. По Регламенту ИКАО, например, для метеорологического обеспечения функционирования аэропортов (безопасные взлет и посадка самолетов) необходима информация о вертикальных профилях температуры воздуха и сдвига ветра в слое до высоты 150 метров с разрешением 30 м. Для решения ряда других прикладных задач (рассеяние загрязняющих атмосферу примесей и их дальний перенос, образование и разрушение теплых туманов, береговая рефракция радиоволн и др.) необходима информация о высотном распределении основных метеорологических величин в пограничном слое атмосферы. Высота пограничного слоя в среднем составляет около 1000 м, хотя в некоторых случаях может достигать и 3000 м (например, район расположения Запорожской АЭС, Украина, летом). В монографии [1] обобщены результаты разработок способов и средств РАЗ, обеспечивающих надежную регистрацию вертикальных профилей температуры воздуха до высоты 500 м. Для получения профилей скорости ветра и температуры воздуха во всем пограничном слое и выше него предложено использовать целое поле приемных радиоантенн [2]. Хотя поле приемных антенн позволяет расширить высотный диапазон регистрируемых методом РАЗ вертикальных профилей метеорологических величин до высоты примерно 20 км, однако ряд существенных недостатков (огромное количество антенн, разветвленное кабельное хозяйство, большие эксплуатационные расходы и пр.) требуют поиска других, более эффективных антенных устройств систем РАЗ.

Целью настоящей работы является оценка возможности применения в практике метеорологического обеспечения экологического мониторинга атмосферы аппаратуры РАЗ, использующей пассивную радиолокацию пятна рассеянных сигналов.

### 1. ПАССИВНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ ПЯТНА

Длительная эксплуатация целого ряда экспериментальных систем РАЗ в различных погодных условиях и географических районах, а также известные данные о распространении акустических волн в реальной атмосфере позволили указать на основные метеорологические факторы, влияющие на эффективность применения таких систем для организации метеонаблюдений [3]. В частности, это существование горизонтальной и вертикальной скоростей ветра, его поворот с высотой, наличие вертикальных градиентов температуры и скорости ветра, изменчивость водяного пара, турбулентность и пр.

Уже ранние работы по исследованию возможностей метода РАЗ показали, что и высота зондирования и точность измерения метеорологических величин зависят существенным образом от горизонтальной скорости ветра в зондируемом слое атмосферы [3]. Дальнейшие исследования показали, что (в отличие от радиолокации точечных целей) при радиоакустическом зондировании атмосферы сферические волновые фронты акустического пакета фокусируют электромагнитные волны в объем некоторых размеров, определяемый характеристиками антенн и турбулентностью атмосферы. Если этот “сгусток” электромагнитной энергии падает на плоскую границу, разделяющую две среды с различной диэлектрической проницаемостью, то такая граница становится источником электромагнитного излучения. В случае, когда граница двух сред неподвижна, рассеянное ею электромагнитное излучение сохраняет доплеровский сдвиг частоты, обусловленный движением акустического пакета, сферические волновые фронты которого сформировали этот “сгусток” в своем фокусе. Принимая электромагнитные волны, отраженные от границы раздела двух сред, например, воздух - подстилающая поверхность, можно использовать характеристики принятых радиосигналов для извлечения метеорологической информации по методикам работ [1, 4, 5].

Оценим приближенно энергетический потенциал аппаратуры РАЗ, необходимый для реализации пассивной радиолокации пятна сфо-

кусированных сигналов. При разработке ряда экспериментальных систем РАЗ было установлено [1], что необходимое значение энергетического потенциала системы РАЗ, позволяющего уверенно принимать рассеянные сигналы, лежит в пределах 120–140 дБ (под энергетическим потенциалом здесь понимается отношение выходной мощности радиопередающего устройства системы к пороговой чувствительности ее радиоприемника). Энергетический потенциал доплеровских измерителей скорости и угла сноса самолетов типа ДИСС-3П, приемники которых принимают рассеянное подстилающей поверхностью электромагнитное излучение, составляет 90–110 дБ [6]. Используя приведенные данные, можно считать, что требуемый для реализации рассматриваемого способа РАЗ энергетический потенциал аппаратуры должен обеспечивать регистрацию электромагнитного излучения, подвергнувшегося двойному рассеянию: от акустического пакета волн, фокусирующего рассеянные им электромагнитные волны в пятно некоторых размеров, и от подстилающей поверхности, на которую они фокусируются. То есть значение этого технического параметра системы РАЗ при данном способе зондирования должно составлять 210–250 дБ, что находится на уровне возможностей широко применяемых радиолокационных систем [7].

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА

Рассмотрим возможную схему реализации системы радиоакустического зондирования, представленную на рис. 1, с антенным устройством, предполагающим несовпадение фокального пятна рассеянных сигналов с апертурой приемной радиоантенны, а поиск местоположения этого пятна с помощью приемной радиоантенны путем совмещения максимума ее диаграммы направленности с центром фокального пятна (точнее, с центром тяжести фигуры проекции пятна на подстилающую поверхность). Такое совмещение обеспечит максимальную амплитуду выходных сигналов приемника при применении остронаправленной радиоантенны. Далее на рис. 2 представлены геометрические соотношения, поясняющие методику измерения параметров ветра системой РАЗ при пассивной радиолокации фокального пятна.

Под влиянием горизонтальной скорости ветра акустический волновой пакет переносится ветром по горизонтали над подстилающей поверхностью, вследствие чего проекция фокального пятна  $F$  на плоскость  $P'$  мигрирует по этой плоскости от исходного положения в зависимости от скорости и направления ветра. Такая схема может служить основой для разработки новых способов измерения основных метеорологических величин: скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха. Для

решения задачи измерения параметров ветра, например, достаточно отслеживать положение пятна на подстилающей поверхности (плоскости  $P'$ ) с помощью остронаправленной антенны, регистрируя таким образом годограф ветра; для определения температуры и влажности воздуха, как и обычно, необходимо измерить параметры принятых радиосигналов: доплеровский сдвиг частоты, амплитуду или фазу [1, 5].

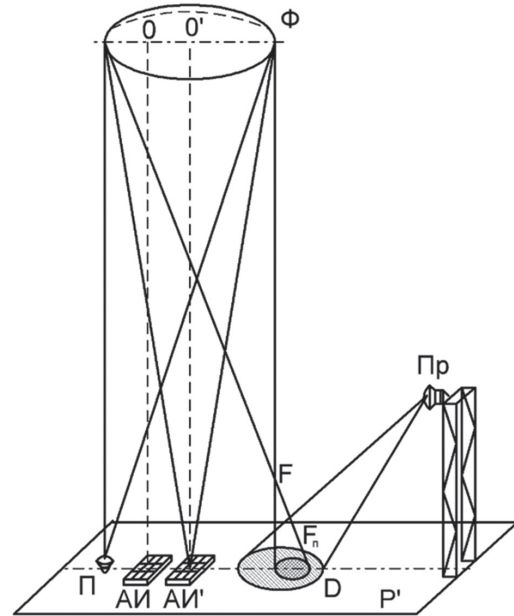


Рис. 1. Схема реализации антенного устройства системы радиоакустического зондирования

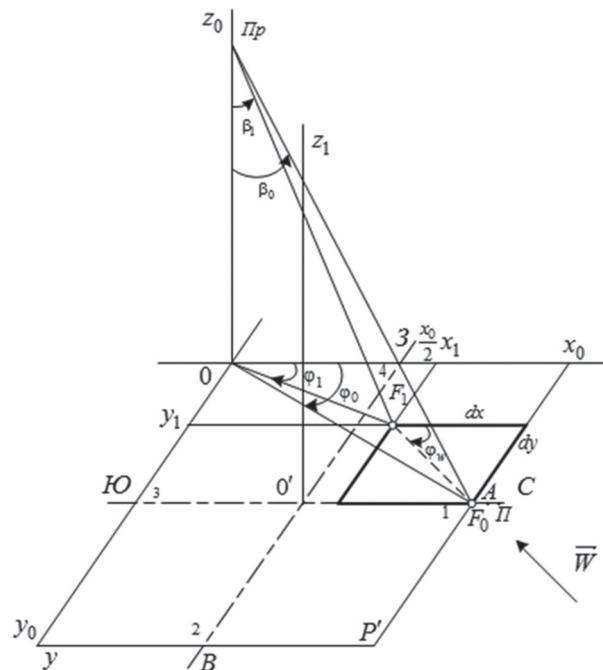


Рис. 2. Геометрические соотношения, поясняющие методику измерения параметров ветра системой РАЗ при пассивной радиолокации фокального пятна

Проанализируем представленную схему с целью оценки возможности применения пассивной радиолокации для реализации способа измерения скорости и направления ветра. В отличие от традиционной для радиолокации, мы исполь-

зуем левую систему декартовых прямоугольных координат, поскольку в метеорологии угол ветра отсчитывается от направления на север по часовой стрелке. Угол ветра в таком случае указывает на направление, откуда дует ветер [8]. В точке с координатами  $O(O;O)$  размещена мачта высотой  $Z_0$ , на вершину которой устанавливается приемная остронаправленная радиоантенна  $\Pi_p$  (зеркальная поворотная или в виде фазированной решетки). На плоскость  $P'$  размерами  $OX_0 \times OY_0$  фокусируется пятно рассеянных сигналов.

Оси системы координат направлены так, что ось  $OX_0$  совпадает с направлением на север, ось  $OY_0$  — с направлением на восток. В зависимости от направления ветра для формирования фокального пятна на плоскости  $P'$  используются передающие акустическая антенна  $A$  и радиоантенна  $\Pi$ , размещенные по нормали к стороне квадрата в точках 1,2,3 и 4 так, чтобы при отсутствии ветра фокальное пятно находилось в точке  $F_0$  (при нахождении зондирующего акустического пакета на высоте самой нижней точки измерения параметров ветра). Центр подстилающей поверхности, используемый для переотражения, располагается в точке  $O_1$  с координатами  $(X_0/2; Y_0/2)$ . Предположим, что направление ветра таково, как обозначено на рис. 2 стрелкой  $\vec{W}$ . В этом случае смещение пятна  $F_1$  по оси  $X$  составит  $d_x = X_0 - X_1$ , а по оси  $Y$  —  $d_y = Y_0/2 - Y_1$ . Выразим координаты точек  $F_0$  и  $F_1$  через азимуты этих точек  $\varphi_0$  и  $\varphi_1$  и через углы визирования  $\beta_0$  и  $\beta_1$ . Тогда будем иметь

$$\begin{aligned} X_0 &= Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta_0 \cdot \cos \varphi_0; \\ X_1 &= Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \cos \varphi_1; \\ Y_0/2 &= Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta_0 \cdot \sin \varphi_0; \\ Y_1 &= Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \sin \varphi_1. \end{aligned} \quad (1)$$

Подставив (1) в выражения для смещения по осям  $X$  и  $Y$ , получим выражения для  $d_x$  и для  $d_y$

$$\begin{aligned} d_x &= Z_0(\operatorname{tg} \beta_0 \cdot \cos \varphi_0 - \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \cos \varphi_1) \\ \text{и} \\ d_y &= Z_0(\operatorname{tg} \beta_0 \cdot \sin \varphi_0 - \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \sin \varphi_1). \end{aligned}$$

При вертикальном распространении зондирующего акустического пакета скорость звука значительно больше скорости ветра. Поэтому смещение фокального пятна по поверхности  $P$  можно приближенно записать в виде

$$d \cong \vec{W} \cdot \Delta t,$$

где  $\Delta t$  — время прохождения центра фокального пятна из точки  $F_0$  в точку  $F_1$ .

В этом случае выражения для составляющих ветра запишутся в виде

$$\begin{aligned} W_x &= \frac{Z_0}{\Delta t}(\operatorname{tg} \beta_0 \cdot \cos \varphi_0 - \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \cos \varphi_1) \\ \text{и} \\ W_y &= \frac{Z_0}{\Delta t}(\operatorname{tg} \beta_0 \cdot \sin \varphi_0 - \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \sin \varphi_1). \end{aligned} \quad (2)$$

Выражения (2) позволяют определить модуль горизонтальной скорости ветра и его направление, а именно:

$$W = \frac{Z_0}{\Delta t} \sqrt{(\operatorname{tg} \beta_0 \cos \varphi_0 - \operatorname{tg} \beta_1 \cos \varphi_1)^2 + (\operatorname{tg} \beta_0 \sin \varphi_0 - \operatorname{tg} \beta_1 \sin \varphi_1)^2}; \quad (3)$$

$$\varphi_w = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \beta_0 \sin \varphi_0 - \operatorname{tg} \beta_1 \sin \varphi_1}{\operatorname{tg} \beta_0 \cos \varphi_0 - \operatorname{tg} \beta_1 \cos \varphi_1}. \quad (4)$$

При аппаратной реализации такого способа регистрации вертикальных профилей скорости и направления ветра могут быть предложены и другие варианты взаимного размещения мачты, антенных устройств и подстилающей поверхности. Например, возможно построение системы РАЗ с исходным положением фокального пятна в центре координатной сетки рабочего поля подстилающей поверхности. Тогда расчетные выражения (3, 4) будут иметь другой вид.

Отметим, что разрешающая способность измерения параметров ветра по слоям в данном способе, как и в классической радиолокации, определяется разрешением по азимуту и углу визирования. В отличие от технологии трех измерений амплитуды отраженных сигналов [9], где разрешающая способность зависит от измеряемой скорости ветра, т. к. форма огибающей амплитуд отраженных сигналов зависит от времени прохождения пятна по апертуре приемной антенны, разрешающая способность измерений рассматриваемым способом остается постоянной.

### 3. ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА

Относительная среднеквадратическая погрешность вычисления модуля горизонтальной скорости ветра по выражению (8) может быть записана в виде уравнения полной погрешности (при условии некоррелированности источников погрешности) аналогично с [10]:

$$\frac{\sigma W_z}{W} = \sqrt{\left(\frac{\partial W_z}{\partial Z_0} \frac{\sigma Z_0}{Z_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial W_z}{\partial \Delta t} \frac{\sigma \Delta t}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\partial W_z}{\partial \beta_0} \frac{\sigma \beta_0}{\beta_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial W_z}{\partial \varphi_0} \frac{\sigma \varphi_0}{\varphi_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial W_z}{\partial \beta_1} \frac{\sigma \beta_1}{\beta_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial W_z}{\partial \varphi_1} \frac{\sigma \varphi_1}{\varphi_1}\right)^2}. \quad (5)$$

Для оценки значения относительной среднеквадратической погрешности измерения горизонтальной скорости ветра необходимо задаться значениями параметров, входящих в расчетное выражение (3). К примеру, если технические параметры антенного устройства системы РАЗ с пассивной радиолокацией имеют такие значения:  $Z_0 = 100$  м и  $\Delta t = 1$  с,  $\beta_0 = 48^\circ$ ,  $\varphi_0 = 26^\circ$ , то значения коэффициентов влияния в (5) в этом случае таковы:

$$\frac{\partial W_z}{\partial Z_0} = 0,41; \quad \frac{\partial W_z}{\partial \Delta t} = -41,47;$$



$$\begin{aligned} \frac{\partial W_z}{\partial \beta_0} &= 415,85; \quad \frac{\partial W_z}{\partial \varphi_0} = 70,28; \\ \frac{\partial W_z}{\partial \beta_1} &= -268,4; \quad \frac{\partial W_z}{\partial \varphi_1} = -68,88. \end{aligned} \quad (6)$$

Анализируя результаты (6), следует отметить, что наибольшее влияние на относительную среднеквадратическую погрешность измерения горизонтальной скорости ветра в (5) оказывают неопределенности по исходному углу установки приемной антенны в угломестной плоскости и по углу отклонения в этой же плоскости. Исходный угол установки  $\beta_0$  не зависит от параметров измеряемого ветра, угол же  $\beta_1$  является искомым, поэтому погрешности его определения следует уделить особое внимание.

Значения большинства относительных среднеквадратических погрешностей измерения параметров, входящих в выражение (5), могут быть оценены по известным методикам. Если при измерении параметров ветра получены значения углов  $\beta_1 = 16^\circ$  и  $\varphi_1 = 36^\circ$ , то при

$$\sigma Z_0 = 10^{-4} \text{ м и } \sigma \varphi_0 = \sigma \beta_0 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ [11],}$$

$$\sigma \Delta t = 10^{-5} \text{ с [12], } \sigma \varphi_1 = \sigma \beta_1 = 0,015^\circ \text{ [7,13],}$$

относительные среднеквадратические погрешности измерения соответствующих параметров будут равны

$$\begin{aligned} \frac{\sigma Z_0}{Z_0} &= 10^{-6}, \quad \frac{\sigma \Delta t}{\Delta t} = 10^{-5}; \\ \frac{\sigma \beta_0}{\beta_0} &= 1,04 \cdot 10^{-5}; \quad \frac{\sigma \varphi_0}{\varphi_0} = 1,9 \cdot 10^{-5}; \\ \frac{\sigma \beta_1}{\beta_1} &= 0,42 \cdot 10^{-4}; \quad \frac{\sigma \varphi_1}{\varphi_1} = 0,92 \cdot 10^{-4}. \end{aligned} \quad (7)$$

С учетом (6) и (7) относительная среднеквадратическая погрешность измерения горизонтальной скорости ветра (5) с помощью антенного устройства системы РАЗ, позволяющего реализовать пассивную радиолокацию пятна рассеянных сигналов, составит

$$\frac{\sigma W_z}{W_z} \approx 0,06,$$

а среднеквадратичная погрешность измерения горизонтальной скорости ветра в реальной атмосфере при средней скорости ветра 10 м/с —  $\sigma W_z \approx 0,6$  м/с.

Рассчитанное значение среднеквадратичной погрешности измерения горизонтальной скорости ветра системой РАЗ с пассивной радиолокацией пятна рассеянных сигналов (в сочетании с уже известной погрешностью измерения температуры воздуха методом РАЗ [1, 5]) показывает, что такие системы перспективны при организации и проведении экологического мониторинга всего пограничного слоя атмосферы. Применение подобных систем в практике метеонаблюдения обуславливается их возможностью получения входных параметров — вертикальных градиентов темпера-

туры и скорости ветра — для моделей турбулентной диффузии загрязняющих атмосферу выбросов естественного и антропогенного характера, а также и дальнего их переноса [14, 15].

Следует отметить, что температурно-ветровая рефракция звуковых волн, вызванная наличием вертикальных градиентов температуры воздуха и скорости ветра и неучтенная при изложенном выше рассмотрении, может вызвать увеличение погрешности измерения параметров ветра предлагаемым способом. Обусловлено это тем, что температурно-ветровая рефракция акустических волн вызовет дополнительное смещение пятна рассеянных радиосигналов, а также изменение формы и площади проекции пятна на подстилающую поверхность. Однако исследование влияния данного метеорологического фактора на эффективность систем РАЗ является предметом дальнейших исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Стоимость создания аппаратуры РАЗ с потенциалом 210–220 дБ для реализации пассивной радиолокации пятна рассеянных сигналов с одной приемной антенной может оказаться значительно ниже стоимости построения целого антенного поля приемных антенн для традиционного радиоакустического зондирования.

2. Наиболее целесообразным представляется использование таких систем РАЗ для метеорологического обеспечения экологического мониторинга атмосферы в районах размещения ТЭЦ, АЭС, крупных площадок хранилищ энергоносителей (нефти, газа и пр.), над которыми запрещены любые полеты.

3. Влияние температурно-ветровой рефракции звуковых волн на погрешность измерения параметров ветра рассмотренным выше способом является задачей последующих исследований.

Авторы благодарят рецензентов за ценные замечания и конструктивную критику, что позволило улучшить содержание статьи.

Коллектив авторов статьи «Пассивная локация пятна рассеянных сигналов при радиоакустическом зондировании атмосферы» сердечно поздравляет *Шифрина Якова Соломоновича* со знаменательным юбилеем — 95 годовщиной со дня рождения, искренне желаем крепкого здоровья и продолжения активной научной деятельности!

## Литература

- [1] Прошкин Е.Г., Бабкин С.И., Груша Г.В. и др. Радиоакустическое зондирование атмосферы. Разд. 2 // Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере Земли / Под ред. Кашеева Б.Л., Прошкина Е.Г., Лагутина М.Ф. — Харьков: Коллегиум, 2002. — С. 44–98.
- [2] Система дистанционного измерения высотных профилей ветра и температуры / Всесоюз. центр переводов. — Л-51132. Пер. статьи Исии Е., Ямасаки Я., Кодзима Ю., Окумура С., Фукусима М. из журн. “Нихон мусэн гихо”. 1984. — № 22. — С. 37–41.

- [3] Бабкин С.И., Куценко В.И., Пахомов Ю.А. и др. Компенсация сдвигового действия ветра при радиоакустическом зондировании атмосферы. - В кн. "Тезисы докладов VII Всесоюзн. симпозиума по лазерному и акустическому зондированию атмосферы (часть 2)". - Томск, ИОА АН СССР, 1982. - С. 138-140.
- [4] А.С. №1658105. СССР МКИ<sup>4</sup> G01S 13/95. Радиоакустический способ зондирования атмосферы / С.И. Бабкин. (СССР).
- [5] Повышение эффективности систем радиоакустического зондирования. Карташов В.М., Бабкин С.И., Куля Д.Н., Кушнир М.В. Разд.1// Обработка сигналов в радиоэлектронных системах дистанционного мониторинга атмосферы. - Харьков: ТОВ "Компанія СМІТ" 2014. - 314 с.
- [6] Колчинский В.Е., Константиновский М.И., Мандуровский И.А. Автономные доплеровские устройства и системы навигации летательных аппаратов/ Под ред. Колчинского В.Е. - М.: Советское радио, 1975. - 430 с.
- [7] Радиолокационные устройства/ Васин В.В., Власов О.В., Григорин-Рябов В.В. и др.// Под ред. Григорина-Рябова В.В. - М.: Советское радио, 1970. - 680 с.
- [8] Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 639 с.
- [9] Панченко А.Ю. Измерение характеристик ветровых потоков вертикальным радиоакустическим зондированием // В кн. Труды 10 Всесоюзн. симп. по лазерн. и акустич. зондир. атмосферы. Ч. 2. - Томск: ИОА СО АН СССР. - 1989. - С. 127-131.
- [10] Бабкин С.И. Анализ погрешностей регистрации профилей температуры воздуха доплеровским и корреляционным способами // Радиотехника. Всеукр. межвед. научно-техн. сб. - Харьков: ХНУРЕ, 2012. - Вып. 169. - С. 72-78.
- [11] Гидростатические нивелиры. [http://www.demetra5.kiev.ua/ru/gidrostaticheskie\\_niveliry](http://www.demetra5.kiev.ua/ru/gidrostaticheskie_niveliry) (дата обращения 29.01.2015 г.).
- [12] Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. - Киев: Выща школа, 1976. - 431 с.
- [13] Современная радиолокация: пер. с англ. // под ред. Ю.Б. Кобзарева. - М.: Сов. Радио, 1969. - С. 608-613.
- [14] Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. - 448 с.
- [15] Прошкин Е.Г. Радиоакустическое зондирование в системе контроля загрязнения атмосферного воздуха. - Деп. В УкрНИИГМИ, 05.05.87. - №1382-Ук87. - Харьков: 1987. - 115 с.



Поступила в редколлегию 6.03.215

**Карташов Владимир Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоэлектронных систем ХНУРЕ, научный руководитель проблемной научно-исследовательской лаборатории зондирования атмосферы, академик Международной

академии наук прикладной радиоэлектроники Украины, России и Беларуси. Научные интересы: обработка сигналов, системы дистанционного зондирования атмосферы.



**Бабкин Станислав Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры РЭС ХНУРЕ, заведующий ПНИЛ зондирования атмосферы. Научные интересы: радиоакустическое зондирование атмосферы.



**Толстых Елизавета Геннадиевна**, аспирант кафедры РЭС ХНУРЕ. Научные интересы: дистанционное зондирование атмосферы.

УДК 551.501.8:621.396.96

**Пасивна локація плями розсіяних сигналів при радіоакустичному зондуванні атмосфери / В.М. Карташов, С.І. Бабкін, Е.Г. Толстих // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. - 2015. - Том 14. - № 1. - С. 59-63.**

Розглянуто нову для технологій радіоакустичного зондування атмосфери методику — пасивну радіолокацію плями розсіяних сигналів, сфокусованої сферичними хвильовими фронтами акустичного пакета. Запропонований оригінальний спосіб вимірювання швидкості горизонтального вітру та його напрямку за допомогою методики зондування, яка розглядається. Теоретично оцінено відносну середньоквадратичну похибку вимірювання модуля горизонтальної швидкості вітру.

*Ключові слова:* радіо, акустика, антена, зондування, атмосфера, вимірювання, похибка.

Лл.: 2. Бібліогр.: 15 найм.

UDC 551.501.8:621.396.96

**Passive location of a spot of scattered signals at radioacoustic atmospheric sounding / V.M. Kartashov, S.I. Babkin, E.G. Tolstykh // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. - 2015. - Vol. 14. - № 1. - P. 59-63.**

The paper considers a new technique for radioacoustic atmospheric sounding technologies. The said technique is passive spot radiolocation of scattered signals. This spot is focused by the spherical wave fronts of an acoustic package. An original method of horizontal wind speed and direction measurements using the mentioned technique is offered. The relative mean square error of measurement of a module of wind horizontal speed is theoretically estimated.

*Keywords:* radio, acoustics, antenna, sounding, atmosphere, measurement, error.

Fig.: 2. Ref.: 15 items.