

# FREQUENCY ADAPTATION ALGORITHM OF THE SYSTEMS RADIO ACOUSTIC SOUNDING OF ATMOSPHERE

Kartashov V. M., Kushnir M. V.  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
14, Lenina ave., Kharkov, 61002, Ukraine  
Ph.: (057) 7021587, e-mail: res@kture.kharkov.ua

*Abstract* — The analysis of the adaptation of known methods for radio acoustic atmospheric sounding to changing meteorological conditions has shown their shortcomings. A new improved method of radio acoustic atmospheric sounding, which accounts for the effect of weather conditions on the operation of the system and provides increase of major quality indicators sensing systems, is proposed.

## АЛГОРИТМЫ ЧАСТОТНОЙ АДАПТАЦИИ СИСТЕМ РАДИОАКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Карташов В. М., Кушнир М. В.  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
пр. Ленина, 14, Харьков, 61002, Украина  
тел.: (057) 7021587, e-mail: res@kture.kharkov.ua

*Аннотация* — Выполнен анализ известных методов адаптации систем радиоакустического зондирования атмосферы к изменяющейся метеорологической обстановке, показаны их недостатки. Предложен усовершенствованный метод радиоакустического зондирования атмосферы, который учитывает влияние метеорологической обстановки на работу системы и обеспечивает повышение основных качественных показателей систем зондирования.

### I. Введение

Системы радиоакустического зондирования атмосферы (РАЗ) используются для определения основных метеовеличин: температуры воздуха, скорости и направления ветра, влажности, параметров турбулентности. Метод РАЗ основан на измерении радиолокационным способом скорости распространения пакета звуковых волн, излученных в атмосферу. Получение достаточного для обработки и регистрации уровня отраженного сигнала в системах РАЗ возможно только при выполнении условия Брэгга, которое требует определенного соотношения между длинами акустической и электромагнитной волн. Поскольку длина звуковой волны существенным образом зависит от значений метеопараметров, то возникает необходимость частотной адаптации систем РАЗ к изменяющейся метеорологической обстановке.

В [1] применялись две методики зондирования «точка» и «трасса». При регистрации профилей температуры методом «трасса» дисперсия температуры имеет минимум в точке, где выполняется условие Брэгга, а по методике «точка», дисперсия растет по мере увеличения значения расстройки условия Брэгга. В работе [2] встречается использование алгоритма частотной адаптации систем РАЗ с использованием фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). При сильном порывистом ветре, когда имеются глубокие замирания сигнала на отдельных участках трассы, устойчивость работы такой системы нарушается. При срывах системы АПЧ измеренное значение температуры на несколько градусов превышает значения в соседних точках.

Существующие методы частотной адаптации, основанные на подстройке частоты акустического сигнала, или подстройке частоты радиосигнала под условие Брэгга, не обеспечивают требуемой эффективности систем радиоакустического зондирования. В соответствии с этим возникает необходимость разработки новых, более эффективных методов частотной адаптации систем РАЗ.

### II. Основная часть

Влияние флуктуационной и динамической ошибок на процесс подстройки под условие Брэгга, при распространении акустического пакета в атмосфере, показано на рис. 1. Здесь представлен высотный профиль скорости звука и для 4-х точек профиля показаны кривые, определяющие интенсивность отраженного радиосигнала. Максимумы этих кривых совпадают со значениями скорости звука в соответствующих точках профиля.

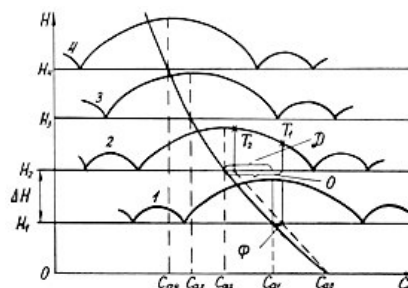


Рис. 1. Влияние флуктуационной и динамической ошибок на выполнение условия Брэгга.

Fig. 1. Influence of fluctuational and dynamic mistakes on fulfillment of Bragg condition

Предполагается, что скорость звука у поверхности земли известна точно и отсутствует ошибка настройки в первой точке профиля. Тогда значение скорости звука в этой точке, измеренное системой РАЗ, будет отличаться от истинного на величину флуктуационной ошибки  $\Phi$ . При настройке во второй точке профиля по этому значению попадаем в точку  $T_1$  на кривой отражения и имеем общую ошибку настройки  $O$ , которая равна сумме динамической  $D$  и флуктуационной  $\Phi$  ошибок. Если через точки измеренное на высоте  $H_1$  значение скорости звука провести прямую, то получим экстраполированное значение скорости во второй точке профиля, которое соответствует точке  $T_1$  на кривой отражения. Как видно

из рис. 1, ошибка настройки в этом случае существенно меньше, чем в предыдущем, а это приведет к получению существенно большей амплитуды отраженного сигнала. Все вышесказанное объясняет динамику процесса настройки системы РАЗ, влияние на этот процесс флуктуационных и динамических ошибок измерений и показывает необходимость их учета при разработке блока устройства управления частотой зондирующего радиосигнала.

Оценку скорости звука в каждой точке профиля целесообразно производить с использованием корреляционной обработки. При разных фиксированных значениях параметра  $q$  форма кривой функции  $F(r, q)$  различная и соответствует форме рассеянного в атмосфере радиосигнала при скорости звука, определяемой выражением

$$C_s = \frac{2\pi f_s}{4\pi f_e / c - q}, \quad (1)$$

где  $f_s$  — частота звука;  $f_e$  — частота радиосигнала;  $c$  — скорость распространения радиоволн. Таким образом, функция рассеяния [3] позволяет определить форму, которую будет иметь рассеянный в атмосфере радиосигнал при различных скоростях звука. Формируя опорные сигналы с использованием функции рассеяния, которая определяет форму электромагнитного сигнала рассеянного на акустической волновой посылке и, сравнивая с ними принимаемый из атмосферы рассеянный радиосигнал, можно оценить скорость звука, при которой был сформирован принимаемый радиосигнал.

Затем осуществляется линейная фильтрация получаемой последовательности оценок скорости звука, формирование и экстраполяция значения скорости звука в следующую точку по формуле

$$C_{ae}^{(i)} = 2C_a^{(i-1)} - C_a^{(i-2)}, \quad (2)$$

где  $i$  — номер высотного уровня;  $C_a^{(i-1)}$  — оптимальное оценочное значение скорости звука на предыдущем уровне.

Далее вычисляется оптимальная оценка скорости звука на текущем уровне по формуле:

$$C_a^i = \left\{ \frac{C_a^{(i)}}{\sigma_e^2[C_a^i]} + \frac{C_{ae}^{(i)}}{\sigma_n^2[C_a^{(i)}]} \right\} / \left\{ \frac{1}{\sigma_e^2[C_a^i]} + \frac{1}{\sigma_n^2[C_a^{(i)}]} \right\}, \quad (3)$$

где  $\sigma_e^2[C_a^{(i)}]$  — дисперсия экстраполированного значения;  $\sigma_n^2[C_a^{(i)}]$  — дисперсия измеренного значения скорости звука.

Значение  $C_a^i$  используется при расчете температуры на каждом высотном уровне. Экстраполированное значение  $C_{ae}^{(i+1)}$  используется для вычисления необходимого значения частоты генератора сигналов высокой частоты и для подстройки частоты радиопередатчика под условие Брэгга

$$F_e = \frac{C_e \left( \frac{2\pi f_s}{c} - q \right)}{4\pi} \cdot \frac{C_{ae}^{(i+1)}}{C_e}$$

Управление частотой зондирующего сигнала осуществляется по результатам линейной фильтрации. На рис. 2 показано сравнение исходного профиля оценок скорости звука с профилем, полученным

после фильтрации, предполагая, что дисперсия маневра скорости звука  $D_\mu = 2M^2 \cdot c^2$ .

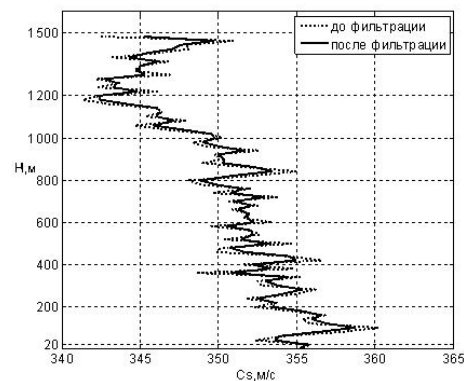


Рис. 2. Профили скорости звука до и после фильтрации, зависимость высоты  $H$  от скорости звука  $C_a$ .

Fig. 2. Sound speed profiles before and after filtration, dependence of height  $H$  vs. sound speed  $C_a$

Профили, полученные после фильтрации (рис. 1), характеризуются меньшей дисперсией, что говорит об уменьшении флуктуационных ошибок. Таким образом, в сравнении с алгоритмами обработки сигналов, основанных на измерении доплеровской частоты колебаний, алгоритм с применением корреляционной обработки, фильтрации и экстраполяции полученных оценок скорости звука, позволит повысить качество настройки на условие Брэгга в системах РАЗ, и обеспечит возможность получения полного профиля температуры в течение нескольких минут.

### III. Заключение

Анализ известных методов радиоакустического зондирования атмосферы показал следующие недостатки. Смещение максимумов пространственных спектров взаимодействующих сигналов друг относительно друга приводит к уменьшению амплитуды результирующего рассеянного сигнала, а также к отличию частотного сдвига от чисто доплеровского сдвига, что вносит в результаты измерений дополнительную, систематическую погрешность. Существенное влияние на точность измерений оказывают флуктуационные и динамические ошибки. Рассмотрены существующие методы частотной адаптации систем РАЗ, проанализированы их недостатки. Предложен новый усовершенствованный алгоритм управления частотами зондирующих сигналов, который позволит повысить качественные показатели таких систем, а именно, точность измерений профиля температуры и дальность действия, а также повысить оперативность зондирования.

### IV. References

- [1] Babkin, S., Proshkin, E., Ulyanov, U. *Experimentalnue rezultatu temperaturno vetrovogo zondirovaniya atmosfery radioacustichskim metodom. [Experimental results of temperature-windshield sounding atmosphere by radio acoustic method]* Math. Academy of Sciences of the USSR, Physical and astronomical, Observatory, 1984, vol. 20, No 6, pp. 495-500.
- [2] Gorelik, A., Zhezherin, V., Kallistratova, M. (1987). *Radioacusticheskoe zondirovanie atmosfernogo pogrannichnogo sloja s avtopodstrojkoj chastoty. [Radio acoustic sounding of atmospheric boundary layer with locked loop]*, Meteorological research, No 10, 28 p.
- [3] Kartashov, V., Kulia, D., Pashenko S. Algorithm for tracking information parameter changes of radio acoustic system signal, *East European Journal of advanced technologies, Kharkov*, 2012, vol. 4/9, pp. 57-61.