

Измерение ветра в пограничном слое атмосферы методом доплеровской томографии

В.В. Стерлядкин, А.В. Желтов

ГОУВПО Московский Государственный Университет Приборостроения и Информатики
107996, г. Москва, ул. Стромынка, д.20, e-mail: andreyzheltov@yandex.ru

Рассмотрен новый подход к измерению профиля ветра при зондировании атмосферы непрерывным немодулированным излучением, основанный на методах доплеровской томографии с добавлением весовой функции в виде ослабления газами атмосферы.

A new method of wind measurements under continuous wave sounding is considered. The approach is based on Doppler tomography and additional factor of wave attenuation by the atmospheric gases.

Традиционные методы дистанционного получения профиля ветра в атмосфере основаны на использовании импульсного когерентного излучения или непрерывного излучения с различными видами модуляции [1]. Недостатком импульсных систем является наличие “мертвой” зоны, которая нередко составляет сотни метров. Модуляция непрерывного излучения имеет свои недостатки, связанные с неэффективным использованием излучаемой энергии и трудностями достижения высокой чувствительности при малой отражаемости рассеивателей.

В докладе рассматривается возможность преодоления указанных недостатков за счет использования непрерывного немодулированного когерентного излучения и осуществления вертикальной привязки путем решения задачи доплеровской томографии.

Впервые такая возможность была показана в наших работах в 1986 г. [2], а полная математическая формулировка задачи доплеровской томографии (ДТ) была сделана в 1990 г. [3]. Принцип метода заключается в использовании полной формы доплеровских спектров, полученных при проведении азимутального разреза при фиксированном угле места.

Использование положения спектра по оси доплеровских частот и закономерностей изменения граничных частот спектров при изменении азимута зондирования α_3 позволяло определить область локализации годографа ветрового поля, который представляет собой множество концов векторов $\vec{v}(\alpha)$ в полярных координатах (v, α) , рис. 1.

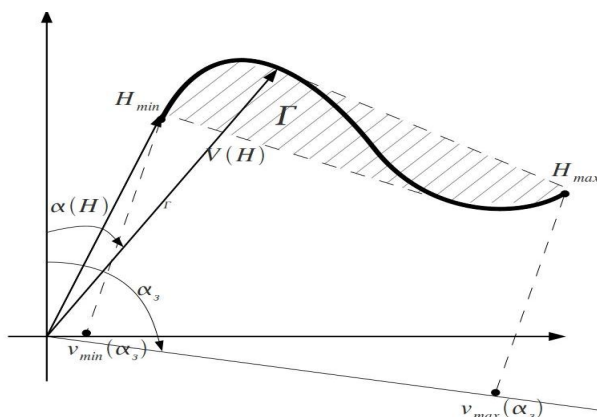


Рис. 1. Граничные частоты доплеровских спектров задают в полярных координатах область, в которой располагается годограф ветра $v(\alpha)$ (на графике эта область заштрихована)

Здесь радиус-вектором является модуль скорости ветра, а полярный угол α задает азимут ветра. На рис. 1 показан пример годографа, который параметрически можно задать двумя функциями: изменением модуля скорости ветра и азимута ветра с высотой $V(H)$, $\alpha(H)$.

Годограф ветра $\Gamma(V, \alpha)$ в полярных координатах показан жирной линией, азимут ветра $\alpha(H)$ и азимут зондирования α_3 отсчитывается от вертикальной полуоси (север). Область локализации годографа заштрихована.

Для каждого направления зондирования α_3 на соответствующей прямой регистрируются максимальная $v_{\max}(\alpha_3)$ и минимальная $v_{\min}(\alpha_3)$ доплеровская скорость. Очевидно, что годограф должен располагаться в области полярных координат, которая ограничена интервалом проекций $(v_{\max}(\alpha_3), v_{\min}(\alpha_3))$. Проводя аналогичное ограничение полярной области при других направлениях зондирования α_3 , получим в итоге выпуклую область $\Gamma(V, \alpha)$, в которой с необходимостью располагается годограф ветрового поля. Выпуклая граница области $\Gamma(V, \alpha)$ с необходимостью принадлежит годографу $V(\alpha)$, однако весь годограф только на основе граничных доплеровских частот $v_{\min}(\alpha_3)$ и $v_{\max}(\alpha_3)$ восстановить невозможно. Кроме того, знание годографа еще не является решением задачи, т. к. в каждой точке $V(\alpha)$ необходимо определить соответствующую высоту H , т. е. провести пространственную привязку годографа.

Процедура пространственной привязки годографа основана на использовании полной формы доплеровских спектров $S(v, \alpha_3)$. Если зависимость мощности принимаемого сигнала от дальности R , при условии равномерного заполнения пространства рассеивателей обозначить $P(R)$, то можно использовать выражение для мощности сигнала, полученного нижнего слоя отражателей ($0 < H < h$) для привязки по высоте:

$$\int_0^{h / \sin \beta_3} P(R) dR = \int_{v_{\min}}^v S(v, \alpha_3) dv \quad (1)$$

где h – текущая высота слоя отражателей,
 β_3 – местный угол зондирования,
 v – текущая скорость, соответствующая высоте h .

Данное уравнение позволяет связать высоту h и проекцию скорости ветра v для заданного α_3 .

Отметим, что использование уравнения (1) возможно только при условии монотонности зависимости проекции скорости ветра на направление зондирования от высоты $v(h, \alpha_3)$. При нарушении этого условия томографическое восстановление по заданной процедуре приводит к большим погрешностям.

В настоящей работе мы рассмотрели возможность повышения надежности и точности решения обратной задачи за счет использования зондирующего излучения, которое испытывает известное ослабление газами атмосферы. Например, зондирование в полосе поглощающей атмосферной кислорода.

В этом случае, проводя наклонное зондирование с переменным углом места β_3 , удается изменять ядра интегральных уравнений, которые описывают получение доплеровских спектров.

Зондирование при малых углах места позволяет убрать вклад верхних слоев и томографически восстановить нижнюю часть профиля. С ростом угла места β_3 добавляется вклад все более высоких слоев, которые восстанавливаются с учетом известных профилей низлежащих слоев.

Данная процедура восстановления была проверена методом математического моделирования и показала устойчивую сходимость даже при высоком уровне погрешностей измерения первичных данных.

В заключение отметим, что предложенный томографический метод измерения ветрового профиля позволяет получить данные, начиная от самых низких высот (уровня расположения станции) до высот, ограниченных чувствительностью измерительной системы.

В докладе [4], представленном на данной конференции, проведены оценки энергетического потенциала малогабаритной доплеровской ветровой РЛС. Данные оценки показывают возможность создания на современной элементной базе непрерывной доплеровской РЛС, которая позволит на основе принципов доплеровской томографии получать профиль ветра в нижнем 300м слое практически в любых погодных условиях.

Литература

1. David Atlas Radar in Meteorology: Batan memorial and 40th Anniversary. Amer. Meteorological Soc., Boston 1990.
2. Горелик А.Г., Стерлядкин В.В. Ветровое зондирование атмосферы при помощи непрерывных доплеровских систем. Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1986. Т.22.№7. С.720-727.
3. Горелик А.Г., Стерлядкин В.В. Доплеровская томография в радиолокационной метеорологии, Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1990. Т.26.№1. С.47-54.
4. Стерлядкин В.В., Кононов М.А. Оценка возможностей использования ветровой РЛС в условиях ясного неба. Настоящий сборник докладов.