

А.И. Гришин, Г.Г. Матвиенко, О.В. Харченко, Т.А. Ярчук

О ВОЗМОЖНОСТИ ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ОСНОВНЫХ МЕТЕОЭЛЕМЕНТОВ

Исследуется возможность измерения высотных профилей основных метеоэлементов при помощи лазерного локатора, использующего метод дифференциального поглощения для определения температуры и влажности и корреляционную методику для измерения вектора скорости ветра. Оцениваются точности проводимых измерений, определяются предельные дальности для оптической системы, использующей данные методы.

При дистанционном определении метеопараметров атмосферы возможно возникновение ситуаций, при которых определяющее значение имеет скорость получения искомой информации. В связи с этим определенный интерес представляет исследование возможностей одновременного измерения профилей температуры, влажности и вектора скорости ветра при помощи метеолидаров.

В качестве базовых методов для реализации в метеолидаре были выбраны: трехчастотный метод дифференциального поглощения (МДП) для измерения температуры, влажности и фазовый метод для определения скорости и направления ветра. В основе единой методики измерения лежит возможность использования общего массива данных.

В рамках данной проблемы был проведен численный эксперимент по зондированию основных метеопараметров атмосферы лидаром МЕЛ-01, работающим по трехтрассовой схеме зондирования [1]. Схема лидара приведена на рис. 1. Следует отметить, что каждой трассе соответствует определенная длина волны: по первому направлению излучается $\lambda_1 = 725,7947$ нм, по второму $\lambda_2 = 725,7378$ нм – обе в области поглощения водяного пара, а по третьему $\lambda_3 = 725,7500$ нм – в окне прозрачности.

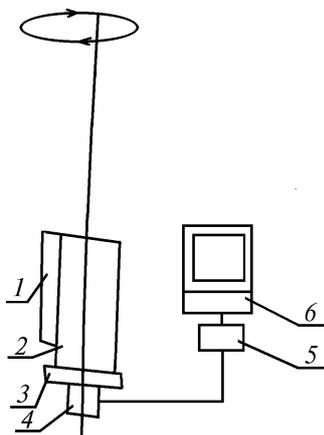


Рис. 1. Схема трехтрассового лидара МЕЛ-01: 1 – излучатель ИЛТИ-407; 2 – приемник; 3 – сканирующее устройство; 4 – блок фотоприемника; 5 – АЦП; 6 – ЭВМ IBM PC AT

Определение скорости ветра в условиях поглощения на трассе зондирования приводит к дополнительному затуханию оптического сигнала, которое увеличивается с расстоянием по экспоненциальному закону. Это, в свою очередь, уменьшает отношение сигнал-шум и, следовательно, понижает высоту зондирования. Расчеты показывают, что для данного лидара предельная дальность зондирования, при которой дисперсия флуктуаций лидарного отклика сравнивается с дисперсией дробовых шумов сигнала, составляет около 1 км для лета и 1,7 км для

зимы. Разница в характеристиках обусловлена различным содержанием водяных паров в атмосфере для зимы и лета.

Для проверки расчетов проводилось построение профилей ветра в условиях поглощения лидарного сигнала, причем за основу принимались реальные профили сигналов лидара, работающего вне линий поглощения. Затем эти сигналы были скорректированы с учетом поглощения для летних условий и уже из них восстанавливался профиль скорости ветра. Временные ряды, накопленные на трех трассах со 128 высотных уровней, подвергались цифровой фильтрации для компенсации тренда и уменьшения уровня высокочастотных составляющих. Далее полученные данные подвергались преобразованию Фурье на основе быстрого алгоритма, после чего данные попарно перемножались. Из полученных комплексных произведений методом обратного БПФ находились корреляционные функции, из сдвига максимума которых восстанавливался профиль скорости ветра.

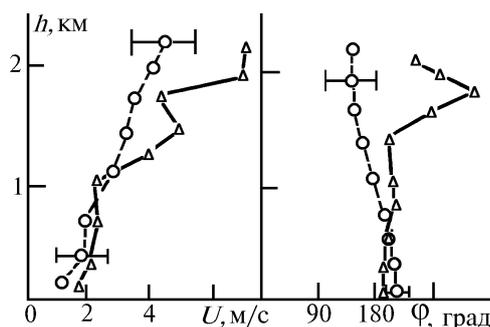


Рис. 2. Результат восстановления профилей скорости ветра

Результат восстановления приведен на рис. 2. Здесь сплошные линии показывают скорость и направление ветра, восстановленные из исходных данных, штриховые кривые – из скорректированных. Горизонтальные отрезки означают доверительный интервал при доверительной вероятности 0,95.

Из рисунка видно, что при наличии поглощения в оптическом сигнале корректное восстановление профиля скорости и направления ветра возможно до высоты 1–1,2 км. Выше этих дальностей ошибка становится уже неприемлемой. Таким образом, данные результаты подтверждают сделанный ранее вывод о максимальных дальностях зондирования скорости и направления ветра в условиях поглощающей атмосферы.

При проведении численного эксперимента по зондированию профилей влажности и температуры использовались спектральные параметры линий поглощения из атласа GEISA [2], аэрозольные характеристики и метеопараметры атмосферы из модели МакКлатчи [3] и высотный ход индикатрисы рассеяния из модели Крекова и Рахимова [4].

Концентрация водяного пара $\rho(h)$, усредненная по интервалу высот Δh , может быть получена из соотношения

$$\rho(h) = \alpha_1(h) / (K_1(h) - K_0(h)), \quad (1)$$

где

$$\alpha_1(h) = (1/2 \Delta h) \ln \{ U_1(h)U_0(h+\Delta h) : [U_1(h+\Delta h)U_0(h)] \}; \quad (2)$$

$K_i(h)$ – зависимость от высоты коэффициента поглощения на длинах волн в центре ($i=1$) и вне контура ($i=0$) выбранной линии поглощения водяного пара, рассчитываемая на основе априорной информации о распределении термодинамических параметров атмосферы и спектрального состава лазерного излучения; $U_i(h)$ и $U_i(h+\Delta h)$ – принимаемые лидарные сигналы из зондируемых объемов атмосферы, удаленных на расстояние h и $h+\Delta h$ от лидара на соответствующих длинах волн. Профиль температуры при зондировании по трехчастотному методу восстанавливается следующим образом:

$$T(h) = T_0 A / (\ln C - \ln F(h)), \quad (3)$$

где

$$A = (E_1 - E_2) / (k T_0); \quad (4)$$

$$C = S_{01} \gamma_{02} / (S_{02} \gamma_{01}) \exp(A); \quad (5)$$

$$F(h) = \alpha_1(h) / \alpha_2(h); \quad (6)$$

E_j , S_{0j} и γ_{0j} – соответственно энергия нижнего колебательно-вращательного уровня, интенсивность и полуширина линий поглощения при температуре T_0 и давлении P_0 для первой и второй линий поглощения $j=1,2$. Коэффициент ослабления $\alpha_2(h)$ определяется аналогично $\alpha_1(h)$ (выражение(2)).

Для оценки точностных характеристик лидара рассчитывались погрешности восстановления профилей T и ρ , обусловленные 1) случайными ошибками при регистрации лидарных сигналов, 2) систематическими ошибками лидарного МДП. Для учета случайных ошибок в процессе эксперимента было проведено зашумление лидарных сигналов. При этом использовался генератор случайных чисел, обеспечивающий равномерное распределение шумовой компоненты с амплитудой, эквивалентной дробовым шумам реального лидарного сигнала. Восстановление величин метеопараметров производилось при усреднении по 1024 импульсам, что соответствует реальной величине массивов данных.

Увеличение ошибки измерения температуры за счет пространственного разнеса точек съема информации моделировалось внесением в сигнальные каналы дополнительных случайных флуктуаций температуры в диапазоне $0,1^\circ$.

На рис. 3 приведены: восстановленный и модельный профили температуры для зимы и лета средних широт. Из рис. 3 видно, что восстановление температуры с точностью до 1° возможно в нижнем слое атмосферы на высотах $0-1,5$ км. Как и следовало ожидать, с увеличением высоты ошибка возрастает.

Результаты восстановления профилей влажности приведены на рис. 4 для зимы и для лета средних широт. На расстояниях до 1,8 км ошибка не превышает 1 %.

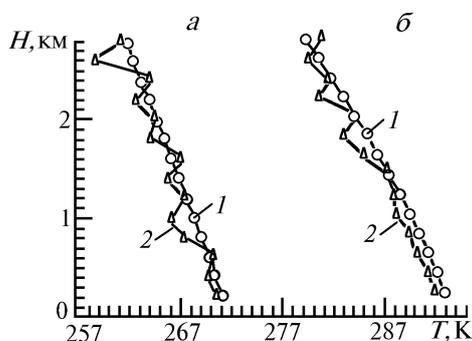


Рис. 3. Результаты восстановления профилей температуры: 1 – восстановленный, 2 – модельный, а – для зимы, б – для лета средних широт

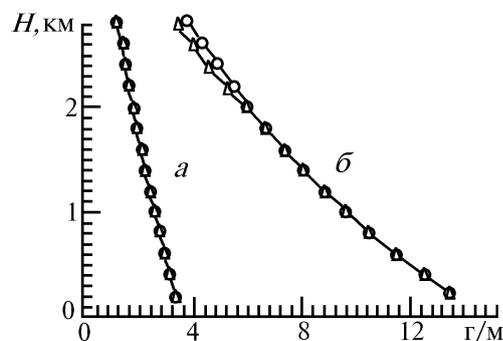


Рис. 4. Результаты восстановления профилей влажности: а – для зимы, б – для лета средних широт, сплошные линии – модельный профиль, штриховые – восстановленный

Во второй части численного эксперимента рассматривались систематические ошибки лидарного МДП, возникающие за счет погрешностей предварительного расчета профилей коэффициента поглощения, которые в реальных схемах зондирования должны быть представлены в виде эффективных величин, усредненных по спектру излучения ($K_{эф}$). Было рассмотрено влияние ширины линии лазерного излучения на значение $K_{эф}$, используемого для восстановления профилей интересующих нас метеопараметров. Расчеты проводились для трех значений ширины линии лазерного излучения $\Delta\nu_e = 0,01; 0,03$ и $0,05$ см^{-1} . Абсолютная ошибка профи-

лей температуры, полученных при различных Δv_e , приведена в таблице. Из представленных в таблице результатов видно, что при $\Delta v_e = 0,01 \text{ см}^{-1}$ ошибка находится в пределах $1,5^\circ$, а при $\Delta v_e = 0,05 \text{ см}^{-1}$ превышает 2° .

Ошибки восстановления профилей T

r , км	Δv_e , см^{-1}		
	0,01	0,03	0,05
0,200	0,8030	1,2340	2,0691
0,400	0,7724	1,2144	2,0701
0,600	0,8377	1,2929	2,1733
0,800	1,0182	1,4893	2,3997
1,000	1,0372	1,5216	2,4562
1,200	0,8651	1,3589	2,3095
1,400	0,8048	1,3102	2,2806
1,600	0,8806	1,4004	2,3956
1,800	1,1246	1,6624	2,6893
2,000	1,0911	1,6425	2,6939
2,200	0,7369	1,2953	2,8599
2,400	0,5671	1,1351	2,2177
2,600	0,6474	1,2307	2,3388
2,800	1,0894	1,6903	2,8358

Проведенный численный эксперимент показывает, что ошибки восстановления профилей температуры и влажности имеют приемлемые значения.

В заключение можно отметить, что в зависимости от объема накапливаемой информации данная методика позволяет проводить измерения метеопараметров атмосферы на 25–50% быстрее, чем при раздельном зондировании тех же параметров.

1. Матвиенко Г.Г., Аршинов Ю.Ф., Гришин А.И. и др. // Труды XI Симпозиума по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Томск: Институт оптики атмосферы СО РАН, 1993. С. 130–136.
2. Hasson N., Chedin A., Scott N.E. et al. // Annales geophysical. Fasc.2. Series A. 1986. P. 185–190.
3. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптико-локационная модель локального аэрозоля. Новосибирск: Наука, 1982. 198 с.
4. McClathrey R.A., Fenn R.W., Selby J.E.A. et al. Optical Properties of the Atmosphere. Report AFCRL-71 – 0279, AFCRL, Bedford, Mass. 1971. 86 p.

Институт оптики атмосферы
СО РАН, Томск

Поступила в редакцию
15 июля 1994 г.

A.I. Grishin, G.G. Matvienko, O.V. Kharchenko, T.A. Yarchuk. **On a Possibility of Simultaneous Measurement of Profiles of Main Meteorological Parameters.**

The lidar potentiality is investigated of measuring altitude profiles of basic meteorological parameters by the differential absorption method for determining temperature and humidity as well as the correlation technique for measuring the wind velocity vector. The accuracy of the measurements carried out is estimated. Maximum ranges for an optical system using the above mentioned methods are determined.