

ЛИДАР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

^{1,2}С.М. Бобровников, ^{1,2}Е.В. Горлов, ¹В.И. Жарков

LIDAR FOR MEASURING VERTICAL DISTRIBUTION OF METEOROLOGICAL PARAMETERS OF THE ATMOSPHERE

^{1,2}S.M. Bobrovnikov, ^{1,2}E.V. Gorlov, ¹V.I. Zharkov

В докладе представлен проект лидара на основе эффекта СКР для одновременных измерений вертикального распределения температуры и влажности атмосферы. В конструкции лидара используется матрица зеркал в сочетании с световодной технологией передачи оптических сигналов. Этот подход позволяет обеспечить минимальные весогабаритные характеристики лидара при высокой надежности. Приводится расчет и компьютерное моделирование узлов и компонентов лидара.

Ключевые слова: лидар, комбинационное рассеяние света, атмосфера.

The report presents a project of the lidar based on the use of the effect of Raman scattering for the simultaneous measurements of vertical distribution of the atmospheric temperature and humidity. In the construction of the lidar, a matrix of mirrors in combination with the extensive application of the fiber transmission technology of optical signals is used. This approach allows to provide the minimal overall weight and dimensions characteristics of the lidar at high reliability. The calculation and computer simulation of units and components of the lidar are presented.

Информация о вертикальном распределении метеопараметров атмосферы представляет огромный интерес в задачах прогнозирования состояния атмосферы и тенденций развития протекающих в ней процессов. В частности такая информация может быть использована для метеопрогноза, прогнозирования смогообразования, оценки интенсивности переноса в атмосфере антропогенных примесей, исследования динамики развития атмосферных процессов, к примеру, динамики формирования облачных образований, динамики фазовых переходов, и т. д. Во всех этих, и многих других задачах подобного плана вертикальное распределение температуры и влажности атмосферы, и его изменение во времени, является важным входным параметром.

Наиболее перспективными методами получения оперативной информации о пространственном распределении основных метеорологических параметров в нижнем слое атмосферы являются методы лазерного зондирования. Появление лазеров вывело технику оптических измерений на качественно новый уровень. Способность лазеров генерировать короткие импульсы монохроматического излучения явилось основой для создания импульсных оптических локаторов (лидаров), позволяющих дистанционно получать пространственно разрешенную информацию об окружающей среде.

Среди лидарных методов наибольший интерес вызывает метод на основе эффекта спонтанного комбинационного рассеяния (СКР), поскольку позволяет получить одновременную пространственно-временную информацию о температуре и влажности в атмосфере при использовании одного источника лазерного излучения. Кроме того, метод является неселективным и не требует использования специальных источников излучения, поэтому длина волны лазерного источника может быть выбрана оптимальным образом, исходя из оптических характеристик атмосферы [Хинкли, 1979].

На рис. 1 представлен спектр СКР атмосферы при возбуждении четвертой гармоникой Nd:YAG-лазера ($\lambda=266$ нм). В спектре СКР-лидарного отклика в

непосредственной близости от линии возбуждающего излучения расположены чисто вращательные спектры СКР. Чисто вращательный спектр СКР на молекулах азота и кислорода является источником информации о температуре, поскольку имеется температурная зависимость населенности вращательных уровней энергии атмосферных молекул. Сами же измерения

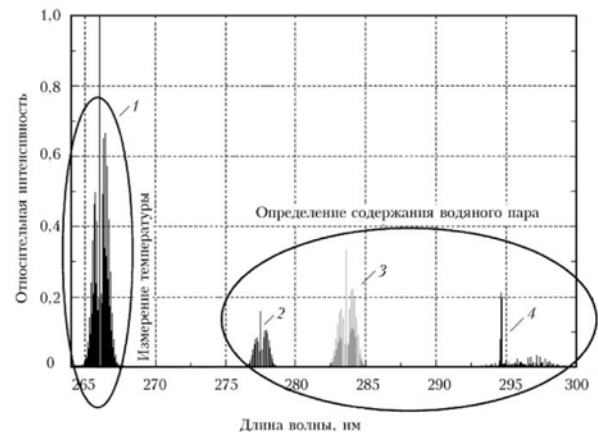


Рис. 1. Спектр СКР атмосферы, полученный при возбуждении четвертой гармоникой Nd:YAG-лазера ($\lambda=266$ нм): чисто вращательные полосы N_2 и O_2 (1); колебательно-вращательные полосы O_2 (2), N_2 (3), H_2O (4).

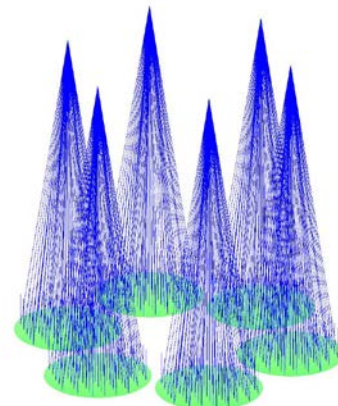


Рис. 2. Ход лучей в матричном телескопе.

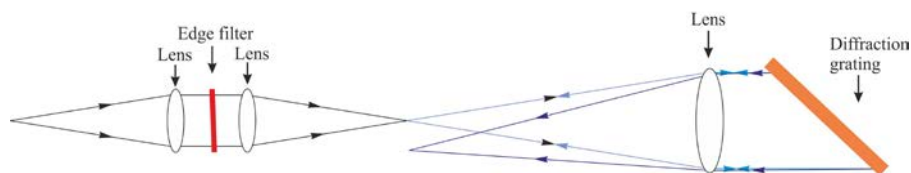


Рис. 3. Оптическая схема лидарного канала для измерения влажности атмосферы.

температуры построены на анализе интенсивности линий вращательного спектра комбинационного рассеяния [Arshinov, 1983, 1999, 2005]. Колебательно-вращательные полосы СКР расположены на значительном удалении от линии возбуждающего излучения. Поскольку интенсивность полос СКР пропорциональна концентрации молекул в зондируемом объеме, использование колебательно-вращательных полос азота или кислорода в качестве опорных сигналов позволяет определять концентрацию водяного пара в атмосфере [Renaut, 1980; Dinov, 2013].

Приемопередатчик лидара для одновременного измерения вертикального распределения температуры и влажности атмосферы должен представлять собой единый блок, для обеспечения высокой механической стабильности элементов оптической системы.

Приемная оптическая система лидара выполнена в виде матрицы зеркал. Матрица состоит из шести параболических зеркал расположенных симметрично вокруг передающего коллиматора (рис. 2). Эффективный диаметр апертуры матричного телескопа может быть вычислен как

$$D_{ef} = D_{sub} \sqrt{N}, \quad (1)$$

где D_{sub} – диаметр субапертуры, N – количество субапертур.

При $N=6$ и $D_{sub}=150$ мм, эффективный диаметр приемного телескопа (D_{ef}) будет равен 367.4 мм.

В фокусе каждой из субапертур устанавливаются световоды, выходные торцы которых объединяются в виде линии и устанавливаются в качестве входной щели блока спектральной селекции лидара.

В блоке спектральной селекции участка спектра обратно рассеянного излучения, отвечающие за измерение температуры и влажности атмосферы (см. рис. 1), разделяются с помощью длинноволнового отсекающего фильтра, который обеспечивает пропускание в области частотных сдвигов $450\text{--}4156\text{ см}^{-1}$ более 85 %, при отражении чисто вращательного спектра СКР с эффективностью более 99.9 %. Излучение, прошедшее отсекающий фильтр, направляется на щель дифракционного полихроматора для дальнейшего выделения и регистрации колебательно-вращательных полос СКР на молекулах азота и водяного пара (рис. 3). Чисто вращательный спектр СКР с помощью световодов направляется в двойной полихроматор разработки ИОА СО РАН [Жарков, 2015].

Выбор конструкции лидара использующий матрицу зеркал в сочетании с световодной технологией передачи оптических сигналов позволит обеспечить

минимальные весогабаритные характеристики лидара при высокой надежности. Исходя из теоретических расчетов, использование УФ лазерного источника излучения и узкого поля зрения приемной системы лидара делает возможным проводить измерения в любое время суток.

Регистрация температурно-чувствительных участков чисто вращательного спектра СКР на молекулах азота и кислорода совместно с колебательно-вращательными полосами СКР на молекулах азота и водяного пара позволит проводить одновременное измерение вертикального распределения температуры и влажности атмосферы в реальном масштабе времени при использовании одного лазерного источника излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (Договор № 14.У30.15.6286-МК).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Жарков В.И., Бобровников С.М., Горлов Е.В., Патент (Россия). Лидарная система для дистанционного измерения температуры в атмосфере, номер заявки: № 2015106270 от 24 февраля 2015 г.

Хинкли Э.Д. Лазерный контроль атмосферы. М.: Мир, 1979. 416 с.

Arshinov Yu.F., Bobrovnikov S.M., Zuev V.E., Mitev V.M. Atmospheric temperature measurements using a pure rotational Raman lidar // *Applied Optics*. 1983. V. 22, N 19. P. 2984–2990.

Arshinov Yu., Bobrovnikov S. Use of a Fabry-Perot interferometer to isolate pure rotational Raman spectra of diatomic molecules // *Applied Optics*. 1999. V.38, N 21. P. 4635–4638.

Arshinov Yu., Bobrovnikov S., Serikov I., et al. Daytime operation of a pure rotational Raman lidar by use of a Fabry-Perot interferometer // *Applied Optics*. 2005. V. 44, N 17. P. 3593–3603.

Dinov T., Simeonov V., Arshinov Y., et al. Raman Lidar for Meteorological Observations, RALMO – Part 1: Instrument description // *Atmospheric Measurement Techniques*. 2013. V. 6. P. 1329–1346.

Renaut D., Pourny J.C., Capitini R. Daytime Raman-lidar measurements of water vapor // *Optics letters*. 1980. V. 5, N 6. P. 233–235.

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия