

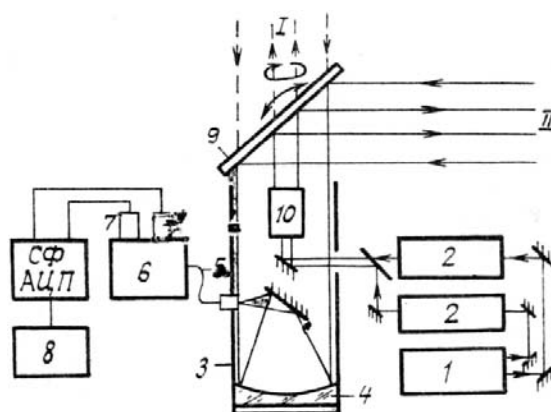
М.В. Кабанов, А.С. Колеватов, И.А. Разенков, Т.Н. Копылова, А.Н. Китрис, К.М. Дегтяренко

### МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ДПР-ЛИДАР НА ОСНОВЕ ЭКСИМЕРНОГО ХеСІ-ЛАЗЕРА

Рассмотрены лидарные системы на основе эксимерных лазеров и лазеров на красителях для определения в тропосфере и стратосфере различных примесей. Проанализированы возможности этих систем. Описан мобильный многофункциональный лидар на основе ХеСІ-лазера, генерирующего излучение с длиной волны 308 нм и лазера на красителе, генерирующего излучение с длиной волны 300, 450 нм для определения в атмосфере озона,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_0$ .

Появление мощных эксимерных лазеров, в частности, лазеров на хлориде ксенона, генерирующих излучение на длине волны 308 нм, и перестраиваемых лазеров на красителях, накачиваемых этим же излучением, обеспечило решение ряда задач атмосферной оптики: зондирование тропосферного и стратосферного озона, определение в нижних слоях атмосферы оксида азота, диоксида серы, других загрязняющих продуктов предприятий. Так, для определения концентрации озона необходимо иметь лазерное излучение, попадающее в полосу поглощения озона на длине волны 308 нм и излучение на красителе с длиной волны 339 или 353 нм, служащее опорным сигналом [1, 2]. В полосу поглощения  $\text{NO}_2$  попадает излучение красителя с длиной волны 450 нм,  $\text{SO}_2$  — 300 нм. Определение последних весьма важно, так как выбросы в атмосферу оксидов азота ( $\text{NO}_2$ ) способствуют образованию фотохимического смога и накоплению озона в нижних слоях атмосферы, являющегося токсичным веществом, а также вносящим вклад в возникновение парникового эффекта. Выбросы в атмосферу диоксида серы служат причиной «кислотных» дождей.

В настоящее время созданы и функционируют ряд лидаров на основе лазеров на хлориде ксенона и перестраиваемых лазеров на красителях за рубежом и в СССР [3, 4, 5]. Энергия излучения лазеров на хлориде ксенона для определения озона в этих системах находится в пределах от 100 мДж до 1 Дж, в опорном канале на длинах волн 339 или 353 нм она в 3–5 раз меньше. Используемые в лидарах приемные телескопы имеют размеры апертуры от 0,4 до 0,9 м. За один час лидарные системы с названными параметрами позволяют с хорошей точностью получать профиль концентрации озона до высоты 40–45 км.



Лидарный метод дифференциального поглощения и рассеяния (ДПР) является наиболее чувствительным методом и позволяет даже при скромных характеристиках локационной системы (лидара) получать информацию об отдельных газовых компонентах атмосферы до дистанций в несколько километров [1, 2]. Суть метода заключается в том, что зондирование осуществляется одновременно на двух близких длинах волн, одна из которых совпадает с линией поглощения исследуемой газовой компоненты. По разнице отраженных атмосферой эхосигналов для обеих длин волн судят о концентрации молекул данного газа. Очевидным преимуществом метода является то, что не требуется абсолютная калибровка лидара.

Анализ возможностей имеющихся технических средств лазерного зондирования атмосферы приводит к выводу о дополнительных перспективах ДПР-лидара многофункционального типа на основе ХеСІ-лазера. Ниже описываются результаты предпринятой нами попытки создания мобильного ДПР-лидара на основе ХеСІ-лазера по жесткой схеме стратосферного локалятора, работающего вертикально вверх.

Оценка предельной дальности действия лидара при указанных ниже характеристиках передатчика и приемника проводилась с учетом рекомендаций статьи [6] о зондировании стратосферного озона и составляет 40–45 км. При зондировании по горизонтальным трассам с использованием такого режима работы система обеспечивает прием сигнала упругого рассеяния до дистанций не менее 10 км. Такой потенциал обеспечивается при измерениях в дневное время при ширине полосы интерференционного фильтра 1,5 нм [7]. Лидар размещается в автомобильном прицепе-фургоне (блок-схема представлена на рисунке).

На жестком общем основании смонтированы ХеСl-лазер, 1, лазеры на красителях, 2 и вертикальная шахта большого телескопа Ньютона, 3, на дне которой закреплено зеркало диаметром 0,5 м, 4. Световод, 5, служит для механической развязки телескопа и селективной системы, 6. Сигналы с фотоприемника (ФЭУ), 7, поступают в систему регистрации и обработки информации, 8, включающей в себя 4-канальный счетчик фотонов, 2-канальный АЦП, управляемые программно с ЭВМ «Электроника-60» печатающее устройство и 2-координатный графопостроитель, ЭВМ 1 ВМ РС/АТ для оперативной обработки и отображения конечных результатов на цветном графическом дисплее и печатающем устройстве в виде карт, разрезов и таблиц. Управление сканирующей системой с поворотным зеркалом также осуществляется по программе с ЭВМ «Электроника-60». Для работы в сканирующем режиме при небольших углах наклона линии наблюдения к горизонту ( $0\div 30^\circ$ ) используется плоское зеркало, размещенное на компактном поворотном устройстве 9, которое имеет возможность перемещаться по крыше фургона и устанавливаться над шахтой телескопа. Заметим, что подобная система известна [1, 8], и в данном случае позволяет решать разноплановые задачи зондирования, не прибегая к изменению конструкции приемопередатчика.

Работа лидара осуществляется следующим образом. Двухкамерный эксимерный ХеСl-лазер генерирует излучение с длиной волны 308 нм в виде двух пучков с энергией по 1 Дж в каждом и длительностью импульса 30 нс. Один пучок используется для накачки лазера на красителе, излучение которого с длиной волны 353 нм и энергией 250 мДж служит для формирования сигнала упругого рассеяния на аэрозольных частицах. Второй пучок ХеСl-лазера с длиной волны 308 нм, совпадающей с полосой поглощения озона, одновременно с излучением лазера на красителе направляется в атмосферу через коллиматор, 10.

Для реализации зондирования других газов в нижних слоях тропосферы предусмотрено формирование выходного сигнала по иной схеме. Например, в случае определения концентрации  $\text{NO}_2$  необходимо получить излучение с длиной волны 450 нм в полосе поглощения и второй сигнал на крыле линии поглощения  $\text{NO}_2$ . В этом случае излучение второго пучка ХеСl-лазера заводится во второй лазер на красителе. Подбор активных сред обоих лазеров и плавная перестройка по спектру позволяют получить на выходе сигналы с необходимой длиной волны излучения.

В случае зондирования  $\text{SO}_2$  применяются кристаллы КДР на выходе лазеров на красителях для удвоения частоты и получения сигналов в линии поглощения этого газа, лежащей в области 300 нм. Описанная схема формирования оптических сигналов обладает гибкостью и позволяет регулировать параметры передающей системы с минимальными изменениями конструкции. Одновременная посылка сигналов на двух длинах волн дает возможность свести к минимуму влияние флуктуаций концентрации аэрозоля на погрешность измерений.

Принцип работы приемной части лидара остается одинаковым для рассмотренных вариантов измерений. Принимаемый оптический сигнал, имеющий две длины волны, собирается телескопом Ньютона 3 и направляется в световод, 5, откуда попадает на селективную систему, 6, разделяющую сигналы по длинам волн. В качестве такой системы служит полихроматор, позволяющий разделить входящее излучение по длинам волн и направить их на фотоприемники. Использование световода позволяет существенно упростить оптическую схему ввода анализируемого излучения с телескопа в селективную систему.

Оптические сигналы преобразуются в электрические на ФЭУ и поступают на входы счетчика фотонов в случае зондирования высотного профиля озона, когда регистрируются слабые эхосигналы, либо на вход АЦП в других вариантах, описанных выше, когда уровень сигнала позволяет работать ФЭУ в токовом режиме. Дальнейшая обработка принимаемой информации ведется по заданной программе, включающей запись исходных данных на магнитные носители, фильтрацию, математические преобразования, расчет концентраций исследуемых газов и вывод конечного результата на печатающее устройство, цветной графический дисплей, графопостроитель в виде таблиц графиков, карт, гистограмм, разрезов.

1. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. 550 с.
2. Лазерный контроль атмосферы // Под ред. Э.Д. Хинкли. М.: Мир, 1979. 416 с.
3. Godin S., Pelon J., Megie G. // 13 International Laser Radar Conference (NASA). Canada, Toronto, 1986.
4. Маричев В.Н., Ельников А.В. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 5. С. 77.
5. Claude H., Wege K. // 14 International Laser Radar Conference (NASA), Italy, San-Candido, 1988.
6. Маричев В.Н., Мицель А.А., Ипполитов И.И. // Спектроскопические методы зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1985. С. 44–57.

7. Stuart McDermid. High power, ground-based lidar for long-term stratospheric and tropospheric ozone measurements //14 International Laser Radar Conference (NASA), Italy, San-Candido, 1988.
8. Sunesson A., Ender H., Svanberg S., Uneus L., Wendt W. //13 International Laser Radar Conference (NASA), Canada, Toronto, 1986.

Сибирский физико-технический институт им. В.Д. Кузнецова,  
Томск

Поступила в редакцию  
28 ноября 1989 г.

M.V. Kabanov, A.S. Kolevatov, I.A. Razenkov, T.N. Kopylova,  
A.N. Kitris, K.M. Degtyarenko. **Multifunctional Dial with the Excimer Laser.**

The paper analyzes the lidar systems based on the use of excimer and dye lasers for sensing different constituents in the troposphere and stratosphere. A description is presented in the paper of a multifunctional lidar with the XeCl-laser ( $\lambda = 308 \mu\text{m}$ ) and a dye-laser emitting at 300 and 450  $\mu\text{m}$  for sensing the atmospheric ozone,  $\text{NO}_2$ , and  $\text{SO}_2$ .