

УДК 551.524.7

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛИДАРНОГО КОМПЛЕКСА СТАНЦИИ ВЫСОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ ИОА СО РАН *

В. Н. Маричев, Д. А. Бочковский

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634055,
г. Томск, площадь Академика Зуева, 1
E-mail: marichev@iao.ru, moto@iao.ru

Лидарный комплекс малой станции высотного зондирования атмосферы ИОА СО РАН позволяет оперативно и регулярно получать профили отношения рассеяния до высоты 70 км, температуры и плотности атмосферы в интервале высот 10-70 км с пространственным разрешением 192 м. Измерения проводятся в условиях безоблачного неба или, в крайнем случае, разрывной облачности. Для планирования проведения измерений используется прогноз погоды и последние проводятся при совпадении прогноза и реальной погоды в ясное ночное время суток. Удаленное или автоматическое управление лидарным комплексом позволит повысить эффективность, качество (за счет измерений при переменной облачности) рядов накопленных данных и увеличить количество сеансов проведения лидарного зондирования атмосферы.

Ключевые слова: лидар, модернизация, автоматизированная система

© Маричев В. Н., Бочковский Д. А., 2018

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-05-00901 и гранта президента РФ МК-4592.2018.8

Введение

Лидарные технологии исследования окружающей среды берут своё начало с момента появления первых лазеров. Основное преимущество лидарных методов состоит в том, что они позволяют получать информацию об объекте исследования на расстоянии за счёт использования различных эффектов взаимодействия излучения с веществом. За более чем сорокалетнюю историю развития лидарных методов была создана солидная методическая основа дистанционного зондирования атмосферы. Лидарные методы принципиально позволяют проводить дистанционное определение таких параметров атмосферы, как температура, плотность, влажность, скорость ветра, газовый состав, концентрация аэрозолей, распределение аэрозольных частиц по размерам и пр. Однако практическая реализация методов требует применения новейших достижений в области оптики, механики, электроники, лазерной техники, информатики. Именно эти области знания претерпевают бурное развитие в последнее время, обеспечивая, таким образом, идеальные условия для создания уникальных лидарных систем.

В работе поставлена цель разработки программно-аппаратной системы удаленного управления лидарным комплексом малой станции высотного зондирования атмосферы ИОА СО РАН (МСВЗА ИОА СО РАН) с последующим проектированием автоматизации проведения лидарных наблюдений за вертикальной стратификацией аэрозоля, температуры и плотности в средней атмосфере. Для решения подобного рода задачи необходимо совершенствовать и модернизировать техническую часть, так и развивать и разрабатывать программные средства удаленного управления и настройки устройств лидача.

Технические характеристики лидарного комплекса

На МСВЗА ИОА СО РАН с 1986 г. на регулярной основе были начаты измерения вертикальных профилей аэрозоля в средней атмосфере [1], которые были дополнены измерениями озона с 1989 г., температуры и плотности атмосферы с 1994 г. Вследствие длительной эксплуатации лидарного комплекса основная часть его оборудования и электронно-регистрационные узлы технически и морально устарели и с 2002 г. начался этап модернизации станции в целом. К началу 2008 г. в Томске на МСВЗА проведен ряд мероприятий, направленных на возобновление наблюдений за вертикальной структурой распределения аэрозоля и температуры в стратосфере [5].

Блок-схема лидача для измерения вертикального распределения температуры, а также вертикальной стратификации аэрозоля, представлена на рис. 1.

В настоящее время основные технические характеристики лидарного комплекса следующие: передатчиком лидача является лазер LS-2137U-UV3 на АИГ:Nd³⁺ с излучением на длинах волн 532 и 355 нм, энергией импульса 400 и 210 мДж и частотой генерации 10 Гц. Обратное рассеянное излучение поступает на телескоп системы Ньютона с приемным зеркалом 1 м и фокусным расстоянием 2 м. В приемной системе были созданы три канала приема оптического излучения: стратосферный и тропосферный на длине волны 532 нм и СКР-канал (рамановский) на длине волны 607 нм. Разделенные оптические сигналы поступают на фотосенсорные модули (фирма Hamamatsu), где происходит их преобразование в электрические сигналы в виде одноэлектронных импульсов.

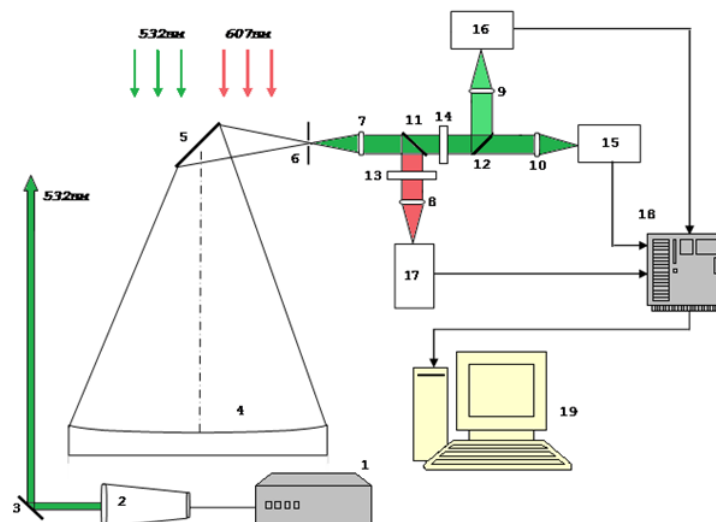


Рис. 1. Структурная схема лидара. 1 – лазер, 2 – коллиматор, 3 – плоское зеркало, 4 – главное параболическое зеркало, 5 – плоский контроотражатель, 6 – диафрагма, 7, 8, 9, 10 – фокусирующие линзы, 11 – дихроичная пластина, 12 – светоделительная пластина, 13, 14 – интерференционные светофильтры, 15,16,17 - фотосенсорные модули, 18 – счетчик фотонов, 19 – ПК

Далее производится их регистрация в счетчике фотонов с дальнейшей передачей данных в компьютер для сбора, накопления и обработки.

Зондирование проводится в ночное время суток. Диапазон высот зондирования - от 10 до 70 км. Используемое вертикальное разрешение измерения сигнала (длина строка) составляет 192 м (при этом дискрет по строку равен 12 м). Единичная серия измерений равняется 10 мин., а среднее время проведения измерений за ночь – около двух часов.

Достигаемая в измерениях погрешность зависит от числа принятых фотонов с заданной высоты, которое определяется энергией лазерного импульса, длительностью строка, количеством лазерных выстрелов, концентрацией аэрозоля и плотностью воздуха и фоновыми засветками. Относительная погрешность измерений на высотах 15-50 км представлена в таблице. Для 30 км в первом столбце приведена погрешность измерений для ближней зоны, во втором для дальней зоны.

Таблица

Относительная погрешность измерений стратификации аэрозоля и температуры (для энергии импульса 400 мДж и частоты посылки импульсов 10 Гц)

	15 км	20 км	25 км	30 км		40 км	50 км
Аэрозоль	2.8 %	3.0 %	3.2 %	4.8 %	3.0 %	3.4 %	4.6 %
Температура, Рэлей*	0.9 %	2%	3.9 %	10 %	<1%	1.2 %	3.5 %
Температура, СКР	2.4 %	5.5 %	11 %				

Модернизация лидарного комплекса

Модернизацию лидарного комплекса на основе построения программно-аппаратной системы, предназначенной для автоматического и/или удаленного управления лидаром, можно разделить на несколько этапов. С технической стороны необходимо провести замену механических частей путем разработки электронного ключа запуска и электронного механизма переключения длин волн лазера. Модернизация существующего или проектирование и установка автоматизированного люка, через который лазерное излучение выводится в атмосферу. Решение задачи модернизации трехканального приемного узла, принимающего сигналы рэлеевского и рамановского рассеяния на длинах волн 532 и 607 нм путем создания дополнительных трех каналов для приема сигналов на длинах волн 355 и 384 нм и разделения двух частей разнородных излучений дихроичной пластиной 532/355. С программной стороны необходимо создание алгоритмов управления аппаратными частями и совмещение их в единый интерфейс, позволяющий оператору вести настройку и мониторинг за основными системами лидара и ходом исследования.

В настоящей статье пойдет речь о построении системы автоматической юстировки оптических осей приемо-передающего тракта лидара с использованием восьмиканального счетчика фотонов.

Для более точного восстановления вертикальных профилей аэрозоля, температуры и плотности важно получить максимально возможный сигнал обратного рассеяния с максимально возможной высоты зондирования. В ручном режиме на такую настройку может уйти до десятка минут, что приводит к сокращению времени зондирования в неустойчивую (например, разрывная облачность) погоду. На рис. 2 представлен процесс настройки положения плоского зеркала на максимальный сигнал от а – максимальная высота юстировки оптических осей приемо-передающего тракта лидара 25 км до в – точное попадание луча лазера в поле зрения приемной антенны.

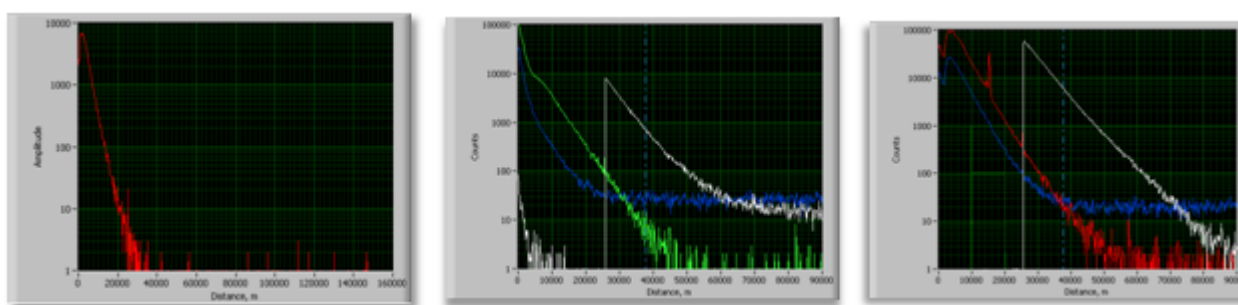


Рис. 2. Процесс настройки положения плоского зеркала на максимальный сигнал

Для решения данной задачи плоское зеркало, выводящее лазерное излучение в атмосферу, было оснащено двумя шаговыми двигателями серии FL57ST с величиной полного шага 1.8 град и разработан алгоритм управления.

Структурная схема автоматизированного узла юстировки оптических осей приемо-передающего тракта лидара представлена на рис. 3.

На рис. 4 представлена упрощенная блок-схема алгоритма управления юстировкой оптических осей приемо-передающего тракта лидара.



Рис. 3. Структурная схема автоматизированного узла юстировки оптических осей приемо-передающего тракта лидара

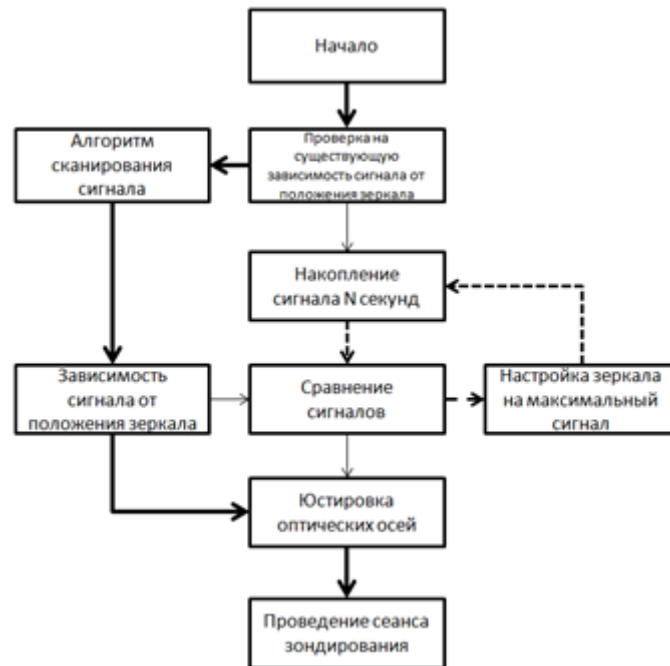


Рис. 4. Упрощенная блок-схема управления юстировкой оптических осей приемо-передающего тракта лидара. Толстые линии – алгоритм действия, если функция временного (пространственного) распределения сигнала обратного рассеяния от положения зеркала не найдена; тонкие линии – зависимость существует; штриховые линии – проверка максимального сигнала во время проведения сеанса зондирования

Перед началом сеанса зондирования алгоритм проведет сканирование принимаемого лидарного сигнала путем поворота зеркала шаговыми двигателями в установленном диапазоне поворотов каждого двигателя. Полученная зависимость сигнала от положения плоского зеркала сохранится в числовом виде и в дальнейшем будет использоваться для автоматической юстировки оптических осей приемо-передающего тракта лидара как перед накоплением лидарных сигналов, так и в процессе, поддерживая максимальный сигнал обратного рассеяния.

Во время проведения сеанса накопления лидарных данных через определенный промежуток времени система будет проверять уровень сигнала и сравнивать его с исходным. Если высота принимаемого сигнала будет падать или начнет уменьшаться количество принятых фотонов, система автоматически подстроит плоское зеркало на максимальный сигнал.

Заключение

Разработка программно-аппаратной системы удаленного управления лидарным комплексом позволит эффективнее исследовать внутригодовую изменчивость наполнения стратосферы фоновым аэрозолем, отслеживать динамику переноса и изменчивости аэрозольных облаков после извержения вулканов, вести наблюдения за серебристыми и полярными стратосферными облаками над Томском, повысить эффективность исследования термического режима стратосферы и плотности воздуха, особенно во время зимних СП над Томском.

Список литературы

- [1] Ельников А. В., Маричев В. Н., Шелевой К. Д., Шелефонтьук Д. И., “Лазерный локатор для исследования вертикальной стратификации аэрозоля”, *Оптика атмосферы и океана*, **1**:4 (1988), 117-123. [El'nikov A. V., Marichev V. N., Shelevoj K. D., Shelefontyuk D. I., “Lazernyj lokator dlya issledovaniya vertikal'noj stratifikacii aehrozolya”, *Optika atmosfery i okeana*, **1**:4 (1988), 117-123].
- [2] Маричев В. Н., Самохвалов И. В., “Лидарные наблюдения аэрозольных вулканических слоев в стратосфере Западной Сибири в 2008-2010 гг.”, *Оптика атмосферы и океана*, **24**:3 (2011), 224-231. [Marichev V. N., Samohvalov I. V., “Lidarnye nablyudeniya aehrozol'nyh vulkanicheskikh sloev v stratosfere Zapadnoj Sibiri v 2008-2010 gg.”, *Optika atmosfery i okeana*, **24**:3 (2011), 224-231].

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Ельников А. В., Маричев В. Н., Шелевой К. Д., Шелефонтьук Д. И. Лазерный локатор для исследования вертикальной стратификации аэрозоля // *Оптика атмосферы и океана*. 1988. Т. 1. №4. С. 117-123.
- [2] Маричев В. Н., Самохвалов И. В. Лидарные наблюдения аэрозольных вулканических слоев в стратосфере Западной Сибири в 2008-2010 гг. // *Оптика атмосферы и океана*. 2011. Т. 24. №3. С. 224-231.

Для цитирования: Маричев В. Н., Бочковский Д. А. Модернизация лидарного комплекса станции высотного зондирования атмосферы ИОА СО РАН // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2018. № 5(25). С. 17-23. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-25-5-17-23

For citation: Marichev V. N., Bochkovsky D. A. Modernization of the lidar complex of the station of high-altitude sounding of the atmosphere IOA SB RAS, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2018, **25**: 5, 17-23. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-25-5-17-23

Поступила в редакцию / Original article submitted: 12.12.2018

DOI: 10.18454/2079-6641-2018-25-5-17-23

MSC 78A10

MODERNIZATION OF THE LIDAR COMPLEX OF THE STATION OF HIGH-ALTITUDE SOUNDING OF THE ATMOSPHERE IOA SB RAS ¹

V. N. Marichev, D. A. Bochkovsky

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (IAO SB RAS), 634055, Tomsk, 1,
Academician Zuev square, Russia

E-mail: marichev@iao.ru, moto@iao.ru

Lidar complex at small station of high-altitude atmospheric sensing in Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences makes it possible to obtain promptly and regularly the profiles of scattering ratio up to the altitude of 70 km and atmospheric temperature and density in the altitude range of 10-70 km with the spatial resolution of 192 m. The measurements are performed under the conditions of clear sky or, at least, broken clouds. Weather forecast is used to plan the measurements, which are performed when weather forecast coincides with actual weather under nighttime clear-sky conditions. Remote or automatic control of lidar complex will make it possible to increase the efficiency and quality (through introduction of measurements in variable clouds) of accumulated data record and increase the number of sessions of atmospheric lidar sensing.

Key words: lidar, modernization, automated system.

© Marichev V. N., Bochkovsky D. A., 2018

¹The work was done with the financial support of the RFBR grant No. 16-05-00901 and the grant of the President of the Russian Federation, MK-4592.2018.8