

А.И. Абрамочкин, И.Э. Пеннер, В.С. Шаманаев

## ЛИДАР ДЛЯ ПОДСПУТНИКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБЛАКОВ

Описан лидар самолетного базирования М2М, предназначенный для имитации работы лидара космического базирования, а также для проведения подспутникового зондирования облачности. Обоснован выбор его конструктивных особенностей и технических характеристик. Лидар прошел летные испытания.

После ряда теоретических исследований возможности лазерного зондирования из космоса в печати появилось сообщение о том, что лидар орбитального базирования уже изготовлен [1]. Естественно, что возникает вопрос о достоверности результатов зондирования таким лидаром. Основные причины, влияющие на погрешность результатов измерений, можно назвать следующие. Первая, традиционная, — это ухудшение соотношения сигнал-шум на трассе длиной сотни километров. Вторая, более важная с нашей точки зрения, — это изменение геометрии рассеивания фотонов.

Рассмотрим явления, связанные с изменением геометрии эксперимента. Предположим, что лидар имеет расходимость луча 1 мрад, длительность импульса лазера 15 нс (что в пространстве равно 4,5 м), и угол поля зрения  $\Theta = 2$  мрад. Тогда в первом приближении конфигурация объема светорассеяния будет выглядеть следующим образом. Для лидара, находящегося на дистанции 1 км от облака, светящийся цилиндр; длиной 4,5 м и диаметром 1 м «вставлен» в цилиндр визирования такой же длины, но диаметром 2 м, то есть для них соотношения диаметра и длины равны 0,222 и 0,444. Для этого же лидара на дистанции 300 км цилиндр свечения имеет диаметр 300 м, а цилиндр визирования — 600 м. (Это уже, скорее, не цилиндры, а «блины», т. к. толщина их остается прежней). Отношение диаметра к длине изменится до 66,7 и 133,3. Разумеется, что при таком изменении конфигурации системы светорассеяния коренным образом будут отличаться траектории фотонов при многократном рассеянии в облачной толще. Значит, и добавки многократного рассеяния в уравнение лазерного зондирования будут иными.

В работах [2, 3] даны только теоретические оценки величины сигналов космических лазеров и их обращения в оптические параметры облачности, остается только доказать их экспериментально. Для этого был разработан и апробирован на самолете АН-30 лидар М2М. О его специфике можно судить по блок-схеме рис. 1. Информационная система лидара, т. е. совокупность ЭВМ, системы оцифровки сигнала, его визуализация и т.п., здесь не рассматривается.

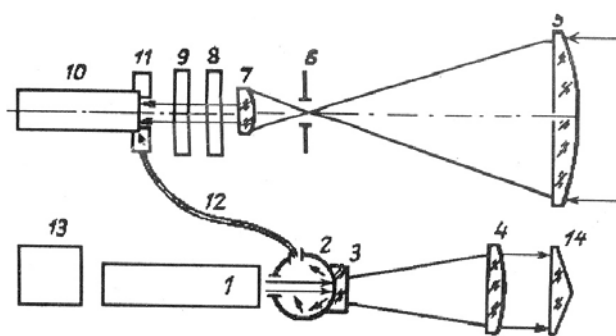


Рис. 1. Схема лидара М-2М: 1 — лазер; 2 — светорассеивающая полость; 3, 4 — линзы коллиматора; 5 — объектив приемника; 6 — полевая диафрагма; 7 — окулярная линза; 8 — интерференционный фильтр; 9 — поляридный фильтр; 10 — фотоумножитель; 11 — стеклянное кольцо для подвода излучения от световода; 12; 13 — система энергообеспечения; 14 — коническая линза

Особенностью телескопа является относительно большое поле зрения, достигающее 70 мрад. В том случае, когда высота полета самолета превышает высоту верхней границы облачности на 4,5 км, диаметр области визирования на верхней границе облачности (ВГО) будет составлять 300 м. Этого вполне достаточно для сопоставления с орбитальными данными. Рабочая высота полета самолета-лаборатории АН-30 7,5 км. вполне позволяет зондировать облака нижнего яруса для такой имитации.

Приемный телескоп лидара образован асферической линзой 5 диаметром 0,2 м, с фокусным расстоянием 750 мм и окулярной линзой 7, Промышленный гранатовый лазер дает на длине волны 532 нм импульсы длительностью 15 нс и энергией 30 мДж. Частота вспышек на борту самолета регулируется до 10–12 Гц и в данном случае ограничивается скоростью съема данных информационной

системой. Непрерывная работа лазера ограничена 2,5 ч летного времени, т. к. отбор тепла осуществляется на внутреннюю теплоемкость хладореагента.

Расходимость луча лазера после коллимации равна в обычных условиях 1 мрад. Однако конструктивно линзы 3 и 4 могут взаимно перемещаться, обеспечивая тем самым изменение расходимости зондирующего луча до необходимой по условиям эксперимента величины.

В сферической полости 2 происходит усреднение мощности той доли излучения, которая отражается от передней поверхности линзы 3. Это устраняет вредные последствия блуждания энергетического центра тяжести излучения 2-й гармоники гранатового лазера, а также поляризации. По световоду 12 и стеклянному кольцу 11 импульс оптической синхронизации поступает на фотокатод ФЭУ, обеспечивая запуск системы регистрации и контроль энергии зондирующего излучения.

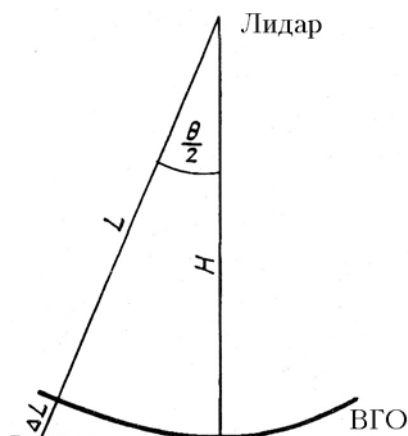


Рис. 2. Влияние кривизны волнового фронта лазерного импульса на погрешность измерения расстояния до ВГО.  $H$  — высота лидара над облачным полем;  $\Theta_0$  — расходимость луча лазера;  $\Delta L$  — погрешность определения расстояния

Еще один источник погрешности связан с кривизной волнового фронта, когда луч большого диаметра начинает входить в облако. Так, из рис. 2 видно, что при плоской ВГО эхосигнал от осевой части луча начнет поступать на детектор раньше, чем от периферийной, что внесет определенную погрешность в измерение  $H$ . Ее значение  $\Delta L = H \cos^{-1} \Theta_0 (1 - \cos \Theta_0)$ . Для рассмотренного выше примера орбитального лидара с  $\Theta_0 = 1$  мрад  $\Delta L = 0,06$  м, а для подспутникового самолетного 1,8 м, т. е. 12 нс во временном масштабе. Ясно, что для большинства практических ситуаций, тем более с учетом размытости ВГО, эту погрешность можно не принимать во внимание.

Разумеется, увеличенное поле зрения лидара предназначено для имитации работы орбитального лидара, а также для определения расстояния до облаков, усредненного по окружностям диаметром  $\Theta H$  (желательно, чтобы она соответствовала кругу визирования орбитального лидара). Контрольное определение показателя рассеяния облаков с самолета необходимо производить с небольшим полем зрения, чтобы уменьшить вклад многократного рассеяния и тем самым улучшить точность измерения.

В том случае, когда требуется контролировать только расстояние до ВГО от самолета, целесообразно использовать луч лазера кольцевого сечения. Для этого коллиматор 3, 4 настраивается на номинальный режим, а в луч вводится коническая линза 14. После нее излучения лазера в дальней зоне имеет форму полого конуса с внешней расходимостью, равной полю зрения приемного телескопа. Полевая диафрагма 6 устанавливается не обычной круглой формы, а с непрозрачной аксиальной частью, соответствующей внутренней безызлучательной зоне полого лазерного конуса. Такая конструкция существенно уменьшает фоновые засветки фотодетектора, но сохраняет усреднение по окружности диаметром  $\Theta H$ .

Положительная коническая линза вида 14 не позволяет повысить мощность излучения лазера, т. к. в области каустики начнется электрический пробой воздуха. Изготовить отрицательную линзу сложно технологически. Поэтому логическим шагом должно быть использование киноформа, имеющего свойства отрицательной конической линзы с заданными параметрами.

Таким образом, проведенные наземные и летные испытания показали возможность зондирования облаков, находящихся на дистанции до 10–15 км. Все типы подстилающих поверхностей можно лонцировать на предельной высоте полета самолета-лаборатории АН-30. Дальность зондирования безоблачной атмосферы в токовом режиме работы фотодетектора составляет 1–2 км, аэрозольные выбросы типа пылевых и дымовых шлейфов регистрируются с высоты полета 5–6 км.

1. Balin Ju.S., Burkov V.V., Znamenskii J.V. et al. //15th Int. Laser Radar Conf. July 23–27, 1990, Tomsk. USSR. Abstracts of papers. Part 1. Tomsk, Inst of Atm. Opt. publ. 1990. P. 12–13.

2. Креков Г.М., Крекова М.М., Самохвалов И.В. //Исследование Земли из Космоса. 1988. № 2. С. 44–51.
3. Креков Г.М., Кавкьянов С.И., Крекова М.М. Интерпретация сигналов оптического зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1987. 185 с.

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,  
СКВ НИП «Оптика» СО АН СССР, г. Томск

Поступило в редакцию  
20 ноября 1990 г.

**A. I. Abramochkin, I. E. Penner, V. S. Shamanaev. An Airborn Lidar for Ground Support Measurements of Clouds in Atmospheric Research from Space.**

The paper presents description of the airborn lidar M2M in application to simulate a spaceborn lidar, as well as for ground support measurements of clouds. Certain peculiar features of the lidar construction and its technical characteristics are discussed. The lidar facility has been tested in flights.