

ЛЧМ «ЛИДАР» ДЛЯ СКАНИРОВАНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

CHIRP «LIDAR» TO SCAN A SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE

**Yu. Volkov
G. Kuligin
D. Leonov
P. Shishkov**

Summary. The article provides an overview of and solution to the problems of atmospheric sounding (ground layer) for the presence of micron and submicron particles. The main task of designing the transmitting and receiving systems chirp lidar. Developed the required software for managing digital oscilloscope with subsequent mathematical processing of the received data.

Keywords: lidar sounding, range finder, lidar, laser radar, laser, radiation pattern of Rayleigh scattering.

Волков Юрий Анатольевич

Магистрант, Московский технологический
университет (МГУПИ)
volkovuanot11@gmail.com

Кулигин Глеб Геннадьевич

Магистрант, Московский технологический
университет (МГУПИ)
G.g.kuligin@gmail.com

Леонов Дмитрий Алексеевич

Магистрант, Московский технологический
университет (МГУПИ)
diki00@yandex.ru

Шишков Петр Олипович

К.ф.-м.н., доцент, Московский технологический
университет (МГУПИ)
kafep1@yandex.ru

Аннотация. В статье приведен обзор и решение проблемы атмосферного зондирования (приземного слоя) на наличие микронных и субмикронных частиц. Определены основные задачи проектирования передающей и принимающей систем ЛЧМ лидара. Разработано необходимое программное обеспечение для управления цифровым осциллографом с последующей математической обработкой полученных данных.

Ключевые слова: лидарное зондирование, дальномер, лидар, лазерный радар, лазер, диаграмма направленности, релеевское рассеяние.

В последнее время все больше внимания уделяется изучению экологического состояния Земли путем мониторинга окружающей среды. Большая часть существующих ранее методик по изучению состава воздуха в том или ином промышленном районе была основана на традиционных контактных способах, имеющих ряд ограничений. К примеру, мониторинг загрязнения огромных пространств проводился только в приземном слое, из-за чего было невозможно определить источники выброса вредных веществ в промышленном районе и т.д.

Решить задачу дистанционного обнаружения источников выбросов вредных веществ в атмосферу позволяют лидары.

Лидар (транслитерация LIDAR англ. *Light Detection and Ranging* — световое обнаружение и определение дальности) — технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света или его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах.

При дистанционном зондировании атмосферы молекулы газов и аэрозоли являются причиной ослабления проходящего через нее излучения. Часть излучения рассеивается в обратном направлении (в сторону приемника лидара) на аэрозольных частицах, либо отражается от объектов или специально установленных экранов. Это излучение с помощью приёмной оптики собирается и направляется на фотодетектор, который преобразует его в электрический сигнал, пропорциональный интенсивности принятого оптического излучения.

ЛЧМ модуляция отвечает за модуляцию мощности по времени, что выгоднее и проще других видов модуляции, возможных для применения в лидарном устройстве данного типа. Для зондирования с высоким пространственным разрешением требуется сигнал, имеющий дельта-подобную (функция Дирака) автокорреляционную функцию. Одним из видов подобного сигнала и является ЛЧМ.

Для решения поставленной задачи был проработан вариант использования оптической системы источника под 2 типа источников излучения с разной расходимостью и разными длинами волн светодиод и лазерный

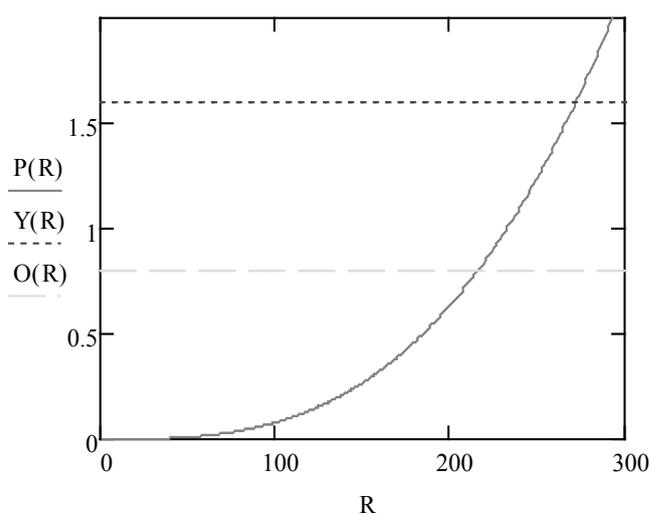
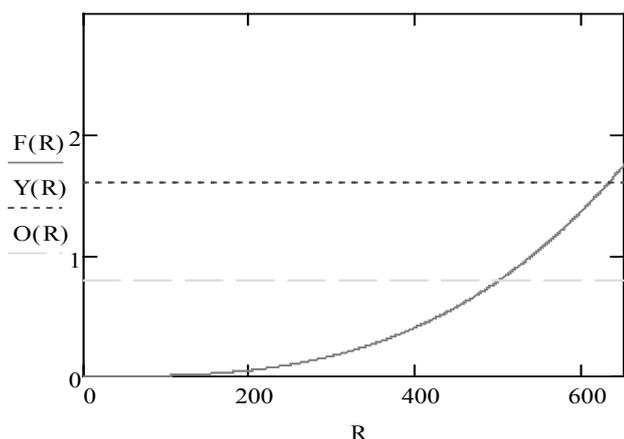


Рис. 1(а,б). Минимальная требуемая мощность для излучения на определенную высоту при заданных условиях

диод. Светодиод показал свою неэффективность в первую очередь по временным характеристикам — минимальное время одного импульса составляет 2 мкс, что исключает возможность зондирования микронных и субмикронных на километровой дистанции в условиях ЛЧМ, ввиду малого разрешения по дальности.

В результате чего принято решение о выборе лазерного диода в качестве источника излучения. В рамках данной работы, для решения поставленной задачи был выбран лазерный диод (ЛД) ф. ORSAM модель PL TB450B.

Данный выбор обусловлен несколькими факторами:

- ◆ стоимость данного ЛД самая оптимальная на рынке из доступных частному лицу по соотношению цена/мощность;
- ◆ выбор длины волны излучения (450нм) опирается на наилучшее отражение от микронных и субмикронных частиц с наилучшим рассеиванием в атмосфере, при мощности достаточной чтобы рассеянный отраженный свет вернулся на частицу. Аналогично общеизвестному физическому явлению «релеевское рассеяние», на частицах происходит рассеяние Ми;
- ◆ при мощности излучения равной 1,6 Вт позволяет исследовать заданный техническим заданием (далее — ТЗ) приземной слой атмосферы до 500 метров.
- ◆ экспериментально подтверждена возможность излучать импульсы длительностью 25 нс и менее, с фронтом не хуже 7 нс (исследования производились на германиевом лавинном фотоприемнике, выступающим в качестве приемника лазерного излучения).

При эксплуатации прибора следует учитывать, в том числе, зависимость излучаемой мощности и направления излучения на дальность при расположении источника (рис. 1) перпендикулярно (а) и параллельно (б) приемнику излучения. Зеленая прямая соответствует использованию источника излучения при значении мощности равной 800 мВт (50% от максимально допустимой), что продлевает его долговечность и отказоустойчивость. Синяя прямая соответствует использованию источника на полную мощность, равную 1,6 Вт, что дает прирост исследуемого расстояния на 100 м.

Из-за конструктивных особенностей прибора и расчета на 400–500 метровую высоту обнаружения частиц — следует учесть, что для замеров малых высот прибор не годится ввиду выходного пучка с малой расходимостью. При мощности 800 мВт можно начинать проводить измерения от 3 м над прибором. При малых высотах рекомендуется использовать приборы, улавливающие частицы контактным методом.

Передающая система осветителя, основанная на стекле марки К8, по перевернутой телескопической системе Галилея, по результатам моделирования в среде OSLO (рис. 2) имеет следующие параметры (таблица 1).

Линейно-частотная модуляция применяется в качестве способа формирования и обработки зондирующего импульса. Она имеет ряд преимуществ:

- ◆ применение ЛЧМ-сигнала позволяет повысить точность измерений в локации;
- ◆ позволяет упростить оцифровку локационных данных;

Таблица 1

Параметры отрицательной линзы:	Параметры положительной линзы
$D_{л1} = 35$ мм	$D_{л2} = 130$ мм
$f_1' = 60$ мм	$f_2' = 230$ мм
$r1 = -62$ мм	$r1 = -119$ мм
$r2 = 62$ мм	$r2 = \infty$
$t = 8$ мм	$t = 15$ мм

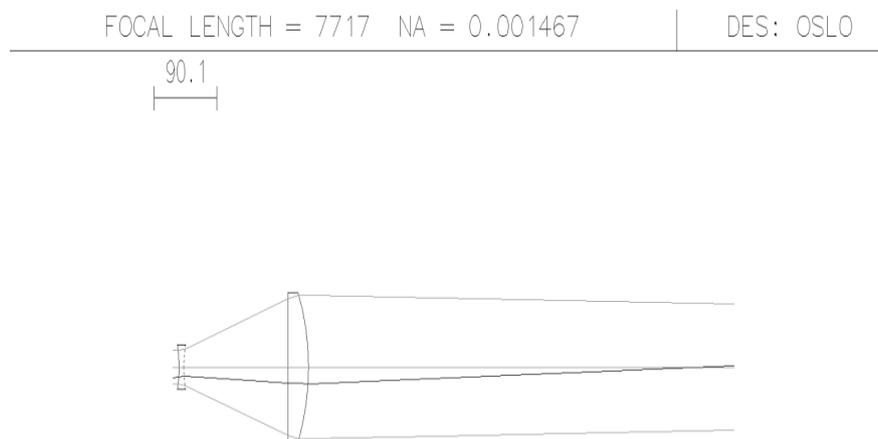


Рис. 2. Результат моделирования передающей оптической системы

- ◆ ЛЧМ-сигнал на частоте модуляции из-за широкой полосы частот можно оцифровать, используя аналого-цифровые преобразователи;
- ◆ высокая средняя мощность в отличие от импульсных лазеров с высокой импульсной пиковой мощностью при малой средней мощности;
- ◆ большой диапазон перестройки;
- ◆ преимущества за счет накопления мощности импульса;
- ◆ возможность варьировать параметрами сигнала;
- ◆ возможность варьировать скоростью модуляции.

Для иллюстрации приведем типичные параметры импульсного лазера лидара.

При длительности импульса $\tau=60$ нс, энергии единичного импульса $Q=0,01$ Дж и частоте повторения $t=20$ с средняя мощность составляет:

$$P_{\text{ср}} = \frac{Q}{t} = \frac{0,01 \text{ Дж}}{2 * 10^{-1}} = 0,5 \text{ мВт};$$

Импульсная мощность составляет:

$$P_{\text{имп}} = \frac{Q}{\tau} = \frac{0,01 \text{ Дж}}{6 * 10^{-8}} = 166 \text{ кВт}.$$

Таким образом, доказана целесообразность использования линейно-частотной модуляции и лазерного диода в квазинепрерывном режиме в качестве источника излучения, что в свою очередь значительно дешевле аналогичных приборов с импульсными мощными лазерами.

При создании приборов для измерения загрязняющих газовых и аэрозольных веществ в атмосфере в первую очередь учитываются такие параметры, как размеры частиц, точность измерения, стабильность работы.

Немаловажными параметрами являются габариты прибора и простота конструкции. Зная эти особенности, можно добиться полной отдачи от прибора, избегая лишних затрат. Структурная схема разработанного прибора представлена на рисунке 3.

Для анализа данных, получаемых с приемника ЛЧМ лидара, используется программируемый цифровой осциллограф BordoB-421, со специально разработанным программным обеспечением.

Управление осциллографом осуществляется при помощи персонального компьютера с предустановленной средой обработки и программирования Labview, в которой реализованы:

- ◆ интерфейс управления осциллографом;
- ◆ математическая обработка получаемого сигнала;

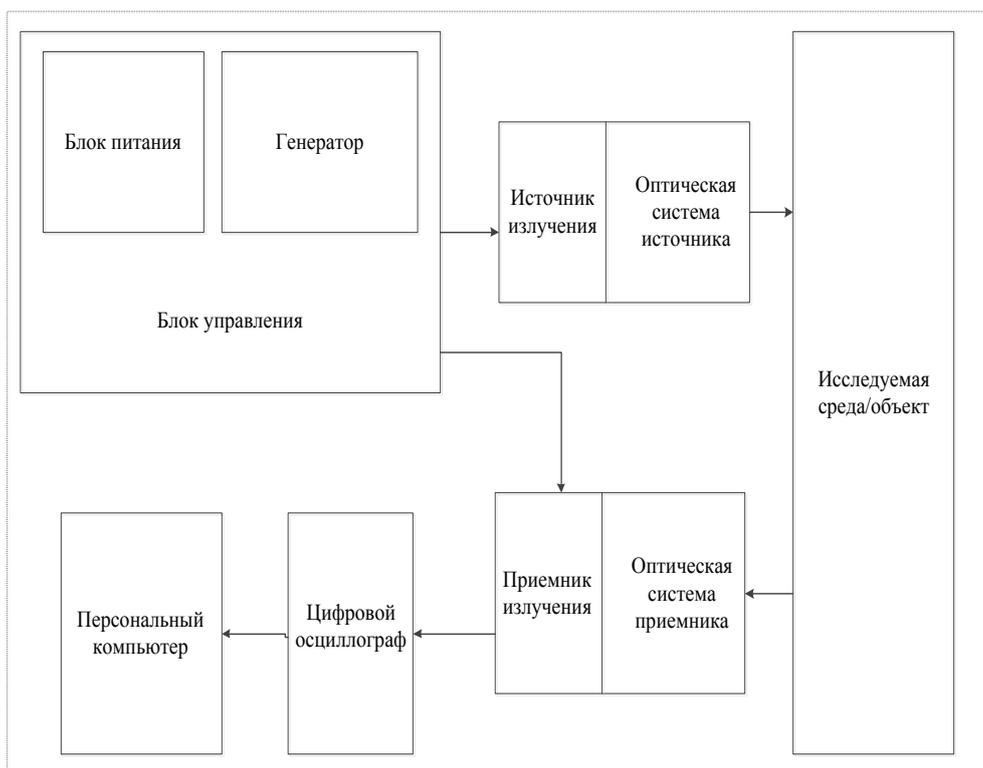


Рис. 3. Структурная схема ЛЧМ-лидара

- ♦ окно вывода данных на экран.

По результатам расчетов, исследований и моделирования можно сделать следующие выводы:

- ♦ подобранный источник излучения для разработанного ЛЧМ лидара при мощности излучения лазерного диода 1,6 Вт позволяет исследовать приземный слой на дистанции до 600 метров;

- ♦ реализация ЛЧМ в данном приборе является наиболее простой и наименее трудозатратной среди аналогичных приборов;
- ♦ преимуществом разработанного прибора является наличие пространственно — частотной выборки;
- ♦ расчетная себестоимость разработанного прибора не превышает 300000 р.

ЛИТЕРАТУРА

1. Френкс Л. Теория сигналов. Нью-Джерси, 1969 г. Пер. с англ., под ред. Д. Е. Вакмана. М., «Сов. Радио», 1974, 344 с.
2. И.В. Бойченко М. Ю. Катаев А. И. Петров Распределенная информационная система автоматизации обработки данных лидарного зондирования.
3. Захаров В. М. Метеорологическая лазерная локация / В. М. Захаров, О. К. Костко. — Ленинград: Гидрометеоздат, 1977. — 222 с.
4. Кашеев Б. Л. Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере Земли / Под общ. ред. Б. Л. Кашеева, Е. Г. Прошкина, М. Ф. Лагутина. — Харьков: Харьк. нац. ун-т радиоэлектроники; Бизнес Информ, 2002. — 426 с.
5. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. Учебное пособие. 1-е изд./ Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. / — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 287 с.
6. Лазерное зондирование атмосферы [http://all4study.ru/— Образовательный блог «Все для учебы»].
7. Коханенко Г.П., Макогон М. М. Мобильный сканирующий флуоресцентно-аэрозольный лидар «ФАРАН-М1» / Фотоника, 2010 г. — 50–53с.
8. Развитие лазерных технологий в проблеме дистанционного зондирования атмосферы / Г. М. Креков, Г. Г. Матвиенко/ Оптика атмосферы и океана, 2010.
9. Лазерный контроль атмосферы /под ред. Э. Д. Хинкли—М.: Изд-во Мир, 1979г-416 с.
10. Сборка и юстировка оптических приборов/ А. Н. Бардин — М.: Высшая школа, 1967 г,—328 с.
11. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ.-Изд. 2-е.-М.: Издательство БИНОМ. — 2014.-704с., ил.