

Г.Н. Балденков, Ю.С. Балин, В.А. Ковалев, В.И. Козинцев,
И.А. Мовчан, Е.А. Можаров, Е.Е. Рыбаков

ЛИДАР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАКЛОННОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ «ЭЛЕКТРОНИКА-03»

Приведены основные технические характеристики и результаты испытаний с базисными регистраторами прозрачности атмосферы промышленного аэродромного лидара. Показано, что в диапазоне МОД от 0,5 до 2 км расхождение с контрольными приборами составляет 15–20%. В плотных туманах наблюдается систематическое завышение измеренных лидаром значений МОД в среднем на 15%, при МОД больше 5 км – систематическое занижение на ту же величину.

Необходимым условием безопасной посадки самолетов в сложных погодных условиях является установление командиром воздушного судна, находящегося на глиссаде снижения, визуального контакта с ориентирами взлетно-посадочной полосы (ВПП). Такой контакт должен быть установлен до достижения регламентированного значения высоты принятия решения, на которой командир решает либо совершать посадку, либо идти на второй круг [1]. Однако в настоящее время не существует серийно выпускаемой аппаратуры для оперативного определения наклонной видимости на аэродромах. В качестве основных параметров, определяющих условия посадки воздушных судов на аэродромах, используются видимость на взлетно-посадочной полосе, измеряемая с помощью регистраторов прозрачности типа РВД [2, 4] или ФИ-1 [3], и высота нижней границы облаков, измеряемая с помощью регистратора типа РВО [4]. Хорошо известно, однако, что использование этих двух параметров, далеко не всегда позволяет адекватно оценить видимость ВПП с глиссады снижения. Применение лидара для определения наклонной дальности видимости позволит, во-первых, повысить безопасность полетов и, во-вторых, даст существенный экономический эффект за счет исключения необоснованных запретов полетов в сложных метеорологических условиях.

В данной работе кратко рассматриваются описание, принцип работы и некоторые результаты предварительных испытаний на горизонтальных трассах промышленного аэродромного лидара «Электроника-03» [7, 8].

Лидар «Электроника-03» предназначен для измерения наклонной прозрачности атмосферы в диапазоне метеорологической оптической дальности (МОД) $0,5 \div 2,5$ км и высоты нижней границы облаков в службах метеобеспечения гражданской авиации. Внешний вид лидара показан на рис. 1. Конструктивно лидар состоит из двух основных частей: зондирующего устройства и устройства обработки информации (УОИ). В транспортном положении обе части располагаются в отапливаемом салоне автомобиля УАЗ-452, а при измерениях УОИ может размещаться в помещении диспетчерской службы аэропорта на расстоянии до 8 км от зондирующего устройства, размещаемого около ВПП,

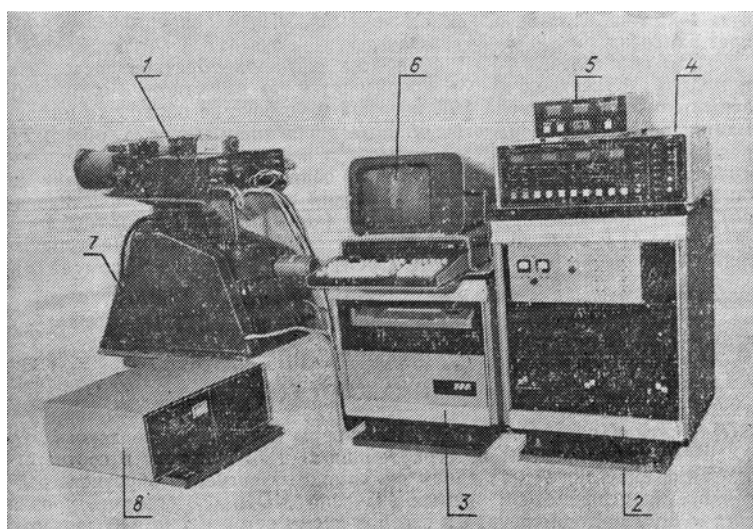


Рис. 1. Внешний вид лидара. 1 – приемопередатчик; 2 – шкаф приборный; 3 – устройство обработки информации; 4 – контрольный пульт управления; 5 – диспетчерский пульт управления; 6 – дисплей; 7 – поворотная колонка; 8 – блок питания лазера

Зондирующее устройство включает в себя приемопередатчик лидара, расположенный на поворотной колонке и блок питания лазера.

Приемопередатчик лидара состоит из передающего канала и двухканального приемного тракта. В состав передающего канала входит лазер на рубине с термоохлаждением и коллимирующий телескоп с шестикратным увеличением, позволяющий уменьшить расходимость излучения до 2 мрад; энергия излучения лазера 0,2 Дж, длительность импульсов 20 нс, частота повторения 0,1 Гц. Приемный тракт лидара состоит из двух идентичных каналов — сигнального и фонового, каждый из которых содержит приемный объектив диаметром 0,1 м и ФЭУ; усиление обоих фотоумножителей регулируется по закону κt^2 , где t — время, отсчитываемое с момента посылки импульса в атмосферу, κ — коэффициент пропорциональности. Погрешность отклонения закона регулирования усиления ФЭУ от параболического составляет не более 10% в диапазоне 0,5–15 мкс. Наличие фонового канала, принимающего только фоновое излучение дневного неба в направлении зондирования, обусловлено необходимостью устранения этого шумового компонента, который наравне с полезным сигналом регулируется по закону κt^2 . Устранение этого компонента производится путем вычитания сигналов друг из друга на выходе сигнального и фонового каналов соответственно.

Приемопередатчик устройство содержит также поворотную колонку, обеспечивающую автоматическую установку лидара под необходимым углом измерений углом места 0°, 4°, 6°, 9° и 13,6° с погрешностью 10 угл. мин. Наличие различных фиксированных углов зондирования определяется необходимостью выбора соответствия толщины зондируемого слоя атмосферы высоте, с которой видны ориентиры ВПП под углом глиссады [5].

Устройство обработки информации (УОИ), разработанное на основе микро-ЭВМ «Электроника-60», предназначено для управления лидаром во всех режимах его работы: для контроля функционирования с указанием возможных неисправностей, для обработки данных зондирования, индикации и документирования результатов измерения наклонной дальности видимости и высоты нижней границы облаков.

УОИ позволяет получать метеорологическую информацию за один сеанс зондирования и путем осреднения данных по 5–10 посылкам зондирующих импульсов. Время обновления информации составляет не более 2 мин, а время проведения контроля функционирования лидара не более 10 мин. Система контроля предусматривает проверку как по электрическому имитатору, так и сквозную проверку с использованием специально разработанного оптического имитатора [11], формирующего световой эхо-сигнал лидара при различных значениях дальности видимости и при отражении импульса от облачного образования.

Диспетчерский пульт управления располагается непосредственно перед руководителем полетов. На четырех цифровых табло пульта отображаются значения наклонной дальности видимости, видимости на ВПП, высоты нижней границы облаков по данным лидара или другой штатной аппаратуры. Управление осуществляется руководителем путем подачи команд «Пуск одиночный», «Пуск непрерывный», «Запрет измерений».

Для определения МОД обработка сигналов обратного рассеяния в лидаре «Электроника-03» производится по известному алгоритму асимптотического сигнала [6], который в устройстве обработки информации реализуется аналоговым интегрированием сигнала обратного рассеяния за два промежутка времени и измерением интервала времени между моментами начала интегрирования. Интервал времени Δt определяется по спаду сигнала рассеяния в n раз ($n = 10$, фиксировано), интегрирование производится от t_0 (конец ближней зоны — 0,5 мкс) до $t_1 = t_0 + \Delta t$ и от t_1 до $t_m = t_0 + 2\Delta t$. Расчет искомого значения метеорологической оптической дальности (МОД) производится по формуле [8].

$$S_{\text{ом}} = \frac{3c\Delta t}{\ln I_m/I},$$

где c — скорость света;

$$I_m = \int_{t_0}^{t_m} S(t) dt, \quad I = \int_{t_1}^{t_m} S(t) dt,$$

$S(t)$ — сигнал обратного рассеяния, скорректированный по закону κt^2 .

Временные пределы интегрирования t_1 и t_m выбраны в соответствии с динамическим диапазоном принимаемых сигналов обратного рассеяния, диапазоном измеряемых значений МОД, соотношения уровня сигнал/шум при измерениях в светлое время суток и т. д. Обоснование выбора исходных параметров лидара и оценка погрешностей измерения $S_{\text{ом}}$ даны в работах [9, 10].

В 1986–1987 гг. лидар «Электроника-03» проходил предварительные натурные испытания, часть из которых — сравнение с контрольными базисными приборами на горизонтальных трассах — проведена на Центральной полевой экспериментальной базе Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова под Ленинградом. Здесь в качестве контрольных приборов при измерениях на гори-

зонтальных трассах использованы базисные фотометры: регистратор типа РДВ-2 на стандартной измерительной базе 2×100 м и прозрачномер на основе прибора М-37 на измерительной базе 920 м.

Необходимость применения приборов с различной фиксированной базой обусловлено тем, что погрешность измерения МОД непосредственно определяется реализуемой оптической толщиной атмосферы, тем самым устанавливая границы применимости прибора. При уменьшении оптической плотности среды достоверность измерений повышается при использовании М-37, а при увеличении — РДВ-2. Измерения МОД в горизонтальных направлениях проводились в течение двух месяцев (с середины октября до середины декабря 1987 года в диапазоне видимостей от 0,2 до 5 км, т.е. в диапазоне, существенно превышающем штатный режим установки. Измерения проводились как в автоматическом режиме, так и в режиме ручного управления, при котором результаты измерений по единичным посылкам лазера считывались с индикатора пульта управления, а осреднение данных проводилось в процессе последующей независимой обработки. В результате проведенных сравнений за указанный осенний период было произведено более 2000 сеансов зондирования, получено свыше 600 осредненных значений $S_{ом}$, в том числе около 400 в автоматическом режиме и свыше 200 — в ручном. Испытания лидара проводились в плотных и слабых туманах, мороси, дымках, осадках, в том числе в условиях ливневого и ледяного дождя, снегопада.

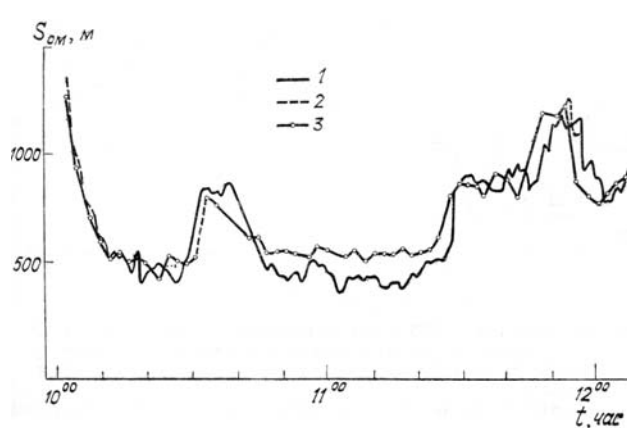


Рис. 2а

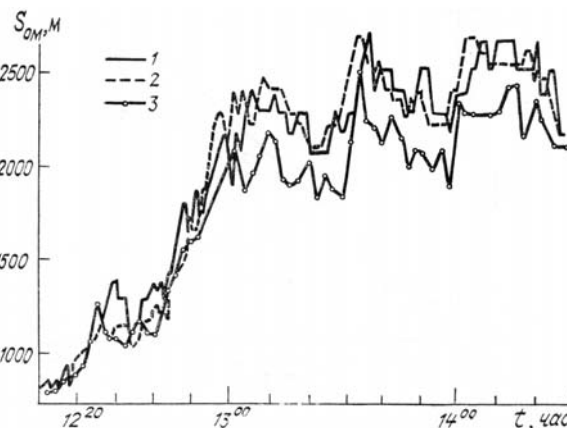


Рис. 2б

Рис. 2а, 2б. Метеорологическая дальность в зависимости от времени, измеренная синхронно лидаром и контрольными приборами 20.10.1987 г. (1 — РДВ-2; 2 — М-37; 3 — лидар)

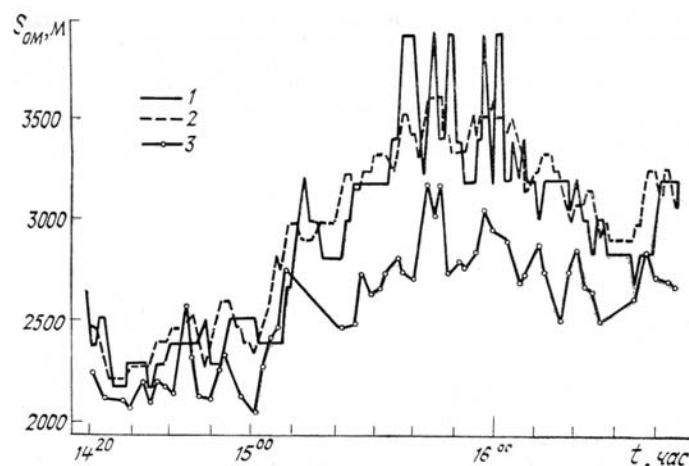


Рис. 2в. Подпись см. под рис. 2а, 2 б.

В качестве иллюстрации ниже приведены некоторые результаты испытаний, полученных на основе указанного массива данных.

На рис. 2а, 2б, 2в показаны временные реализации МОД из данных синхронных измерений лидара и контрольных приборов. Измерения проводились 20.10.87 г. в условиях дымки и тумана непрерывно в течение семи часов, при этом лидар работал в автоматическом режиме. Кривые 1 — результаты измерений МОД прибором РДВ-2, кривые 2 — данные фотометра на базе прибора М-37, кривые 3 — данные лидарного зондирования (кружками показаны моменты зондирования). Характер связи между значениями МОД, полученными для данной реализации лидаром и регистратором РДВ-2, в виде регрессионной зависимости представлен на рис. 3. Отклонения от прямой регрессии в сторону занижения МОД в диапазоне $S_{ом} = 3 \div 4$ км, измеренных лидаром, вызвано некоторыми особенностями электронной схемы приемного устройства лидара и несовпадением измерительных баз сравниваемых приборов.

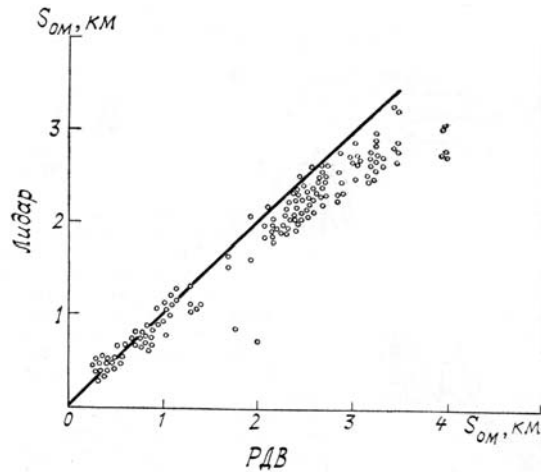


Рис. 3. Связь между синхронными измерениями метеорологической оптической дальности лидаром и базисным регистратором прозрачности РДВ-2

На рис. 4 приведен временной ход показаний лидара и прозраномера М-37 в диапазоне $S_{OM}=1\div 4$ км в метели (рис. 4,а) и дымке (4,б). Особенностью представленных результатов на рис. 4, а является то, что они получены в режиме разного управления лидаром, при этом данные, изображенные на рисунке кружками, усреднены по трем единичным посылкам импульсов излучения. Эксперименты, проведенные с помощью лидара «Электроника-03» в режиме ручного управления, показали, что единичные измерения могут отличаться от показаний контрольных приборов более чем на 25%, а операция осреднения по 3 посылкам уменьшает это отклонение в 1,5÷2 раза. Это подтверждает целесообразность операции осреднения данных, заложенных в алгоритм автоматической работы лидара.

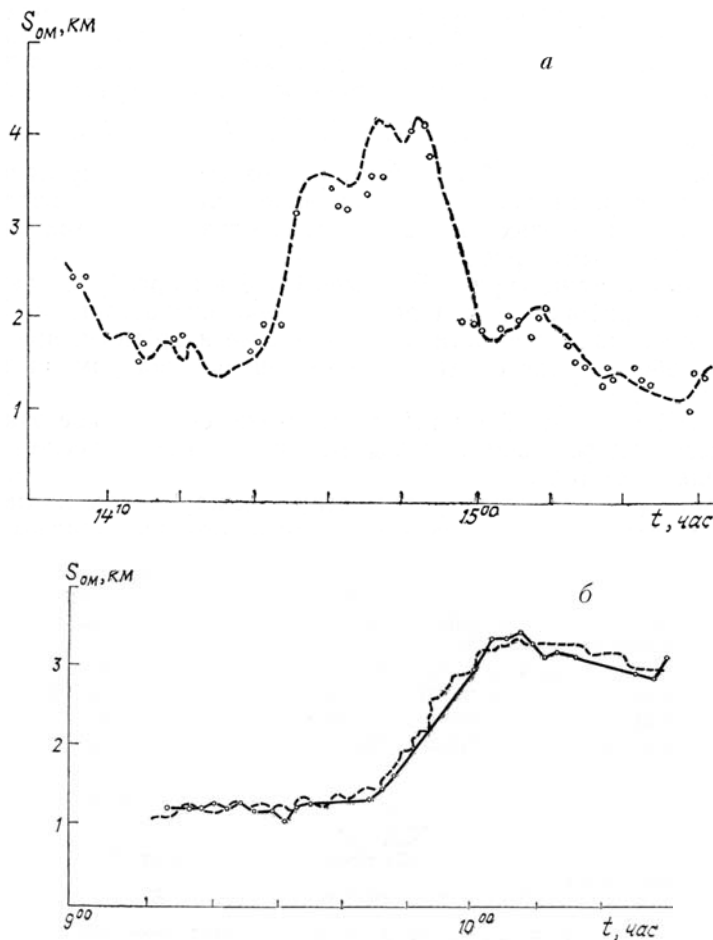


Рис. 4. Временной ход метеорологической оптической дальности по данным лидара (ooo) и регистратора прозрачности М-37 (---) а — метель 13.11.1987 г.; б — дымка 13.11.1987 г.

В целом анализ проведенных испытаний показал следующее.

1. Временной ход значений $S_{\text{ом}}$ по прибору «Электроника-03» хорошо совпадает с временным ходом МОД по контрольным приборам практически во всех случаях наблюдений, включающих измерения в дымках, туманах, дождях и снегопадах.

2. Результаты сравнений лидара «Электроника-03» с базисными контрольными приборами показали, что лидар обеспечивает измерение МОД в горизонтальных направлениях в диапазоне помутнений, существенно превышающем штатный режим работы для наклонных направлений.

В частности:

а) в диапазоне МОД от 0,5 до 2 км расхождение между лидарами базисными приборами носит, как правило, случайный характер и лежит обычно в пределах 15–20%, т. е. близко к расхождениям между самими базисными приборами;

б) в плотных туманах при МОД менее 0,5 км разброс данных между базисным прибором и лидаром несколько возрастает, особенно при резких изменениях видимости в пространстве и времени, при этом имеет место обычно систематическое завышение лидаром значений МОД, в среднем на 15%;

в) при МОД от 2–до 5 км имеет место систематическое занижение измеренного лидаром значения $S_{\text{ом}}$ относительно фактического значения — в среднем на 15%.

Указанное систематическое расхождение между данными лидара и базисных регистраторов на краях исследованного диапазона вызвано некоторыми особенностями использованной электронной схемы в приемном устройстве лидара и принципиально устранимо. Таким образом диапазон измеряемых значений МОД, как показали проведенные сравнения, при дальнейшем совершенствовании электронной схемы может быть существенно расширен.

Проведенные сравнения показали, что лидарный метод измерения МОД в горизонтальных направлениях становится конкурентоспособным с традиционными базисными методами измерений, считающимися наиболее точными на сегодняшний день.

1. Наставление по метеорологическому обеспечению авиации СССР (НМО ГА–82). Л.: Гидрометеоздат. 1983. 182 с.
2. Горышин В. И. //Труды ГГО. 1968. Вып. 213. С. 12.
3. Карпуша В. Е., Круглов Р. А., Стернзат М. С., Плинте С. Д. //Труды ГГО. 1986. Вып. 493. С. 56.
4. Стернзат М. С. Метеорологические приборы и измерения. Л.: Гидрометеоздат. 1978. 392 с.
5. Ковалькова Е. Э., Ковалев В. А. //Труды ГГО. 1985. Вып. 499. С. 96–102.
6. Ковалев В. А. //Труды ГГО. 1973. Вып. 312. С. 128.
7. А. с. 918822 СССР. Устройство для определения оптических характеристик атмосферы/Балин Ю. С., Козинцев В. И., Балденков Г. Н. и др. Оpubл. в БИ. 1982, № 13.
8. Балденков Г. И., Дулькин В. М., Константинов Б. А. и др. //В кн.: 8 Всес. симпозиум по лазерному и акустическому зондированию атмосферы (Тезисы докл.). Томск. 1984. Ч. 2. С. 349.
9. Игнатенко В. М., Ковалев В. А. //Труды ГГО. 1985. Вып. 499. С. 85.
10. Балденков Г. Н., Козинцев В. И., Ковалев В. А., Никифоров В. Г. // В кн.: 8 Всес. симпозиум по лазерному и акустическому зондированию атмосферы (Тезисы докл.). Томск. 1984. Ч. 2. С. 329.
11. Береснев В. А., Гончаров А. Н., Номикос О. Н., Тихомиров А. А. // ПТЭ. 1987. № 5. С. 249.

Институт оптики атмосферы
СО АН СССР, Томск
Главная геофизическая обсерватория
им. А. И. Воейкова, Ленинград

Поступила в редакцию
16 июня 1988 г.

G. N. Baldenkov, Yu. S. Balin, V. A. Kovalev, V. I. Kozintsev,
I. A. Movchan, E. A. Mozharov, E. E. Ribakov. **Lidar Visibility Meter «Electronics-03» for Slant Atmospheric Paths.**

Technical data on a commercial lidar visibility meter designed for the ground-based meteorological air navigation support are reported. The lidar observations of the atmospheric transmittance are compared with the photometer measurements to show a disagreement of 15–20% for the 0,5–2 km meteorological optical range. In dense fogs the lidar data are found to overestimate the visibility, on the average, by 15% while it appears to be systematically underestimated by the same value for the meteorological optical range >5 km.