

ОПТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК: 628.9

СВЕТОЛОКАЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАКОВ ДОЛ-2

© 2009 г. О. А. Волков*, канд. техн. наук; А. В. Демин**, доктор техн. наук; С. А. Денисенко*; К. В. Константинов*

* ОАО “ЛОМО”, Санкт-Петербург

** Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: const_cv@mail.ru

Рассмотрены принципы построения измерителя высоты нижней границы облаков ДОЛ-2. Обсуждены особенности структурной и оптической схем измерителя высоты нижней границы облаков.

Ключевые слова: светолокационный, высота нижней границы облаков.

Коды OCIS: 290.1090.

Поступила в редакцию 15.07.2009.

Введение

Одним из наиболее важных метеорологических элементов, определяющих условие видимости при взлете и посадке воздушных судов, является высота нижней границы облаков (ВНГО). Этим объясняются высокие требования к точности и оперативности получения и представления информации о высоте облаков.

Современным методом определения ВНГО является светолокационный. В светолокационных приборах высота (h) облаков определяется как $h = ct/2$, где c – скорость света, t – время, за которое свет проходит путь от излучателя до облака и обратно.

При светолокационном зондировании атмосферы принимаемый сигнал обратно рассеянного излучения определяется уравнением, которое при учете только однократного рассеяния имеет вид

$$P(h) = P_0 A \beta_{\pi}(h) g(h) h^{-2} \exp \left[-2 \int_0^h \alpha(h) dh \right], \quad (1)$$

где $P(h)$ – мощность сигнала, принимаемого с высоты h ; P_0 – мощность источника излучения, A – постоянная, определяемая параметрами прибора; $\beta_{\pi}(h)$ – коэффициент обратного рассеяния, $g(h)$ – геометрический фактор прибора, завися-

щий от конструктивных параметров его оптической системы; $\alpha(h)$ – коэффициент ослабления.

В таблице приведены диапазоны значений коэффициентов обратного рассеяния и ослабления для атмосферы и облака при различных метеоусловиях.

Как видно из уравнения, в интервале дальностей от 10 м до 3 км мощность $P(h)$ в зависимости от коэффициента ослабления $\alpha(h)$ может меняться на 4–9 порядков.

Сигналы с таким большим динамическим диапазоном не могут быть зарегистрированы обычным прибором без потери информации, поскольку все устройства, через которые проходит этот сигнал, начиная от фотодетектора и кончая счетно-решающим устройством, обладают входным динамическим диапазоном, обычно не превышающим 2–3 порядков и в редких случаях достигающим 5 порядков [1, 2].

Разработанные к настоящему времени методы сокращения динамического диапазона регистри-

Коэффициенты обратного рассеяния и ослабления

| Атмосфера | | Облака | |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| $\beta_{\pi}, \text{км}^{-1}\text{ср}^{-1}$ | $\alpha, \text{км}^{-1}$ | $\beta_{\pi}, \text{км}^{-1}\text{ср}^{-1}$ | $\alpha, \text{км}^{-1}$ |
| 0,001–0,1 | 0,05–2 | 0,5–5 | 10–100 |

руемых сигналов, позволяющие увеличить дальность и информативность зондирования, можно разделить на две основные группы:

- метод теневой зоны (уменьшение динамического диапазона за счет геометрического фактора),
- умножение принятого сигнала на квадрат расстояния.

В ранее используемых измерителях ВНГО ДВО-2, РВО-2 применялся только теневой метод. Для обеспечения необходимого диапазона высот приходилось излучающий и приемный блоки разнести на 5–10 м. Кроме того, в излучающих блоках использовались импульсные лампы, недостатками которых были малый срок службы и большая длительность импульса излучения (1–2 мкс), что не позволяет обеспечить требуемую сейчас точность измерений [3].

Поэтому в настоящее время эти приборы не могут удовлетворять требованиям, предъявляемым к современным измерителям ВНГО.

В измерителе ВНГО СТ-25 фирмы “Vaisala” (Финляндия) уменьшение динамического диапазона обеспечивается только за счет электроники и методики обработки сигнала.

В настоящее время на ОАО “ЛОМО” создан измеритель ВНГО ДОЛ-2, в котором используются оба метода, позволяющие сократить динамический диапазон регистрируемых сигналов: теневой метод – за счет оптической схемы, а метод умножения на квадрат расстояния – с помощью электронного тракта и алгоритма обработки сигнала.

Оптическая схема измерителя высоты нижней границы облаков ДОЛ-2

Для облегчения конструкции и минимизации габаритов, сохраняя при этом высокие качественные характеристики оптики, была разработана оптическая схема передающего канала, состоящая из телескопической зеркальной системы большого увеличения. По тем же соображениям для приемного канала выбран зеркальный объектив.

Оптическая схема приемоизлучающего блока ДОЛ-2 приведена на рис. 1.

Короткие импульсы излучения от полупроводникового лазера с излучающей площадкой 200×250 мкм и расходимостью $15^\circ \times 30^\circ$, сформированные зеркальным объективом 1, 2 в параллельный пучок излучения, представляющий собой световую трубку (с внешним диаметром 240 мм, расходимостью не более $2'$ и внутренним

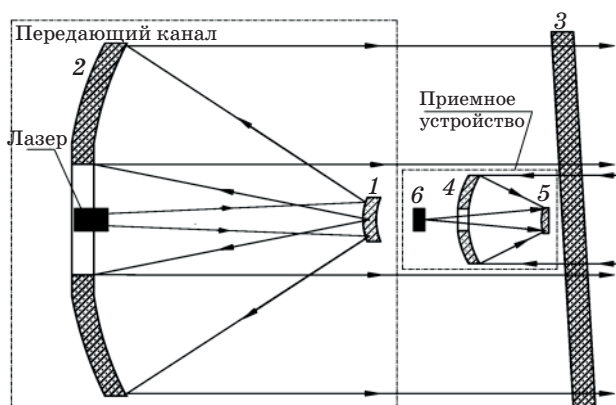


Рис. 1. Оптическая схема приемоизлучающего блока. 1, 2 – зеркальная афокальная система; 3 – защитное стекло; 4, 5 – зеркальный объектив; 6 – ФПУ.

диаметром 80 мм), пройдя защитное стекло 3, направляются вертикально вверх.

Соосно передающему каналу в пятне центрального виньетирования установлен объектив приемного канала 4, 5, который, принимая рассеянное и отраженное излучение передающего канала, формирует изображение светового пятна на фотоприемном устройстве (ФПУ) 6.

Таким образом, построенная оптическая схема ДОЛ-2 позволяет

на высоте $h < 10$ м пропускать на приемник только вторичное рассеяное излучение;

на высоте от 10 до 200 м компенсировать перегрузку приемного тракта от сигналов обратного рассеяния атмосферы в ближней зоне за счет приращения площади поперечного сечения потока излучения передающего канала, охватываемого объективом приемного канала;

на высоте $h > 200$ м полностью захватывать световое пятно от излучателя угловым полем объектива ФПУ [4].

Методика проведения исследований оптической схемы

Датчик устанавливали в горизонтальном положении. Измерения ВНГО в диапазоне $10 \leq h < 150$ м проводили по щитам, в диапазоне $150 \leq h < 3000$ м – по предварительно выбранным в пределах прямой видимости целям (отдельно стоящие здание, сооружение и т. п.). Измерения проводились в нормальных климатических условиях при метеорологической дальности видимости более 5000 м.

Сигнал обратного рассеяния регистрировали непосредственно с ФПУ, исключая электронный тракт обработки.

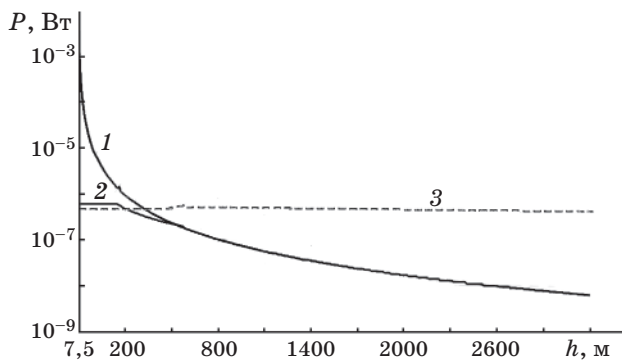
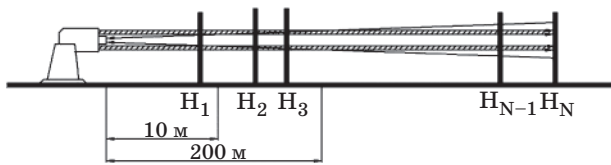


Рис. 2. Измерение мощности сигнала, отраженного от плоского экрана. 1 – без использования теневого метода, 2 – с использованием теневого метода оптической схемы ДОЛ-2, 3 – с использованием теневого метода и метода умножения на квадрат расстояния.

Результаты проверки ДОЛ-2 – зависимость мощности отраженного сигнала от дистанции наблюдения – приведены на рис. 2

Из рисунка видно, что без использования теневого метода (кривая 1) мощность сигнала в диапазоне от 10 до 3000 м меняется на 5 порядков. При проверке оптической схемы ДОЛ-2 мощность сигнала (кривая 2) меняется на 2 порядка. На дистанциях $h < 200$ м предложенная оптическая схема ДОЛ-2 позволила получить мощность сигнала, зависящую только от плотности среды зондирования. Уменьшение мощности сигнала при $h > 200$ м учитывается в электронном тракте и компенсируется соответствующим алгоритмом обработки сигнала.

Электронный тракт обработки сигнала

Структурная схема измерителя ВНГО ДОЛ-2 представлена на рис. 3.

Полупроводниковый лазер (излучатель) предназначен для получения световых импульсов

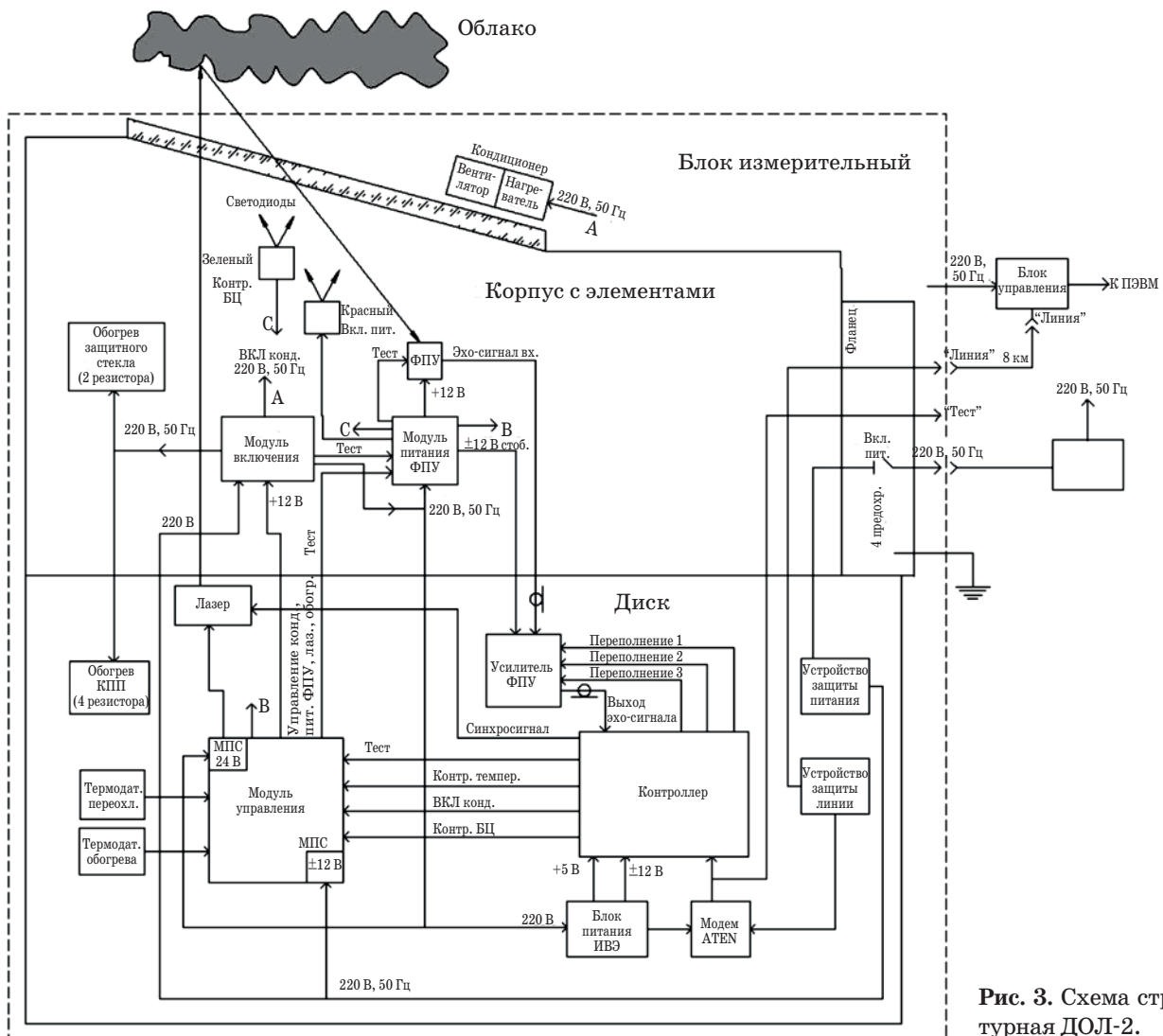


Рис. 3. Схема структурная ДОЛ-2.

($\lambda = 0,905$ мкм) длительностью 100 нс и мощностью 200 Вт. Датчик излучает короткие мощные импульсы в вертикальном или близком к вертикальному направлениях. Отраженное и встречное рассеянное излучение, вызванное туманом, дымкой, мглой, осадками и облаками, поступает через оптическую систему на ФПУ. Откуда после преобразования в электрический сигнал в виде импульсов эхо-сигнала поступает на усилитель и далее передается в контроллер. Для регулировки динамического диапазона дополнительно предусмотрена регулировка коэффициента усиления ФПУ (переполнение 1, 2, 3).

В контроллере сигнал оцифровывается, после чего проводится анализ формы эхо-сигнала в цифровом виде (512 отсчетов с шагом 7,5 м).

Такая обработка позволяет использовать всю информацию, хранящуюся в отраженном сигнале. В сочетании с обработкой результатов ряда зондирований это дает возможность разработать эффективные алгоритмы подавления шума и различные методы выделения и интерпретации данных с целью получения интересующих характеристик облачности.

Кроме того, контроллер осуществляет управление усилителем, управление лазером, контроль аппаратных средств, что позволяет определять и обрабатывать информацию о высоте нижней границы облаков, количестве слоев облачности.

В случае образования инея на защитном стекле или попадания снега контроллер выдает команду на включение кондиционера защитного стекла, который представляет собой электрический вентилятор, обдувающий защитное стекло теплым воздухом.

Для подавления шумов используется большое число лазерных импульсов – по 2000 им-

пульсов в пачке. Период запуска пачек 15 с. За счет накопления амплитуд отраженных импульсов происходит повышение отношения сигнал/шум, что позволяет повысить дальность обнаружения ВНГО.

Предел дальности обнаружения определяется исходя из равенства постоянной составляющей рассеянного атмосферой сигнала и дисперсии шума. В результате совмещения двух методов компенсации динамического диапазона в ДОЛ-2 удалось получить профиль отраженного эхо-сигнала, пропорционального плотности среды и не зависящего от дальности (см рис. 2 кривая 3).

Технические характеристики измерителя ВНГО ДОЛ-2

Технические характеристики ДОЛ-2

1. Диапазон измерения

ВНГО h , м 10–3000

Пределы допускаемой абсолютной погрешности, м

– в диапазоне $10 < h < 150$, м ± 10

– в диапазоне $150 \leq h < 3000$, м $\pm (2,5 + 0,05h)$

2. ДОЛ-2 обеспечивает мгновенные и статистические измерения ВНГО первого и второго слоев. Под статистическим значением понимается результат обработки многократных измерений, а именно четвертое значение из тринадцати измеренных в порядке возрастания значений ВНГО. Это позволяет пилоту повысить гарантированное установление визуального контакта с взлетно-посадочной полосой при заходе на посадку.

3. В ДОЛ-2 обеспечена регистрация и передача всех данных ВНГО на блок управления и имеется возможность передачи данных с блока управления по интерфейсу RS-232 на автоматическую метеорологическую измерительную систему (АМИС).

Внешний вид ДОЛ-2 представлен на рис. 4

Конструктивно датчик выполнен в виде двух частей – измерительного блока, устанавливаемого на поле аэродрома под открытым небом, и блока управления, устанавливаемого в помещении метеонаблюдателей. Они соединены между собой двухпроводной аэродромной линией связи.

Заключение

Разработанный датчик ДОЛ-2 соответствует всем требованиям по измерению высоты нижней границы облаков в диапазоне от 10 до 3000 м в

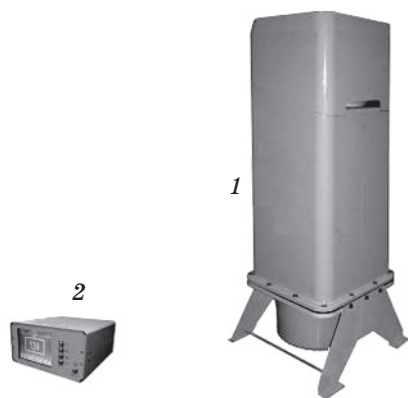


Рис. 4. Внешний вид ДОЛ-2. 1 – измерительный блок, 2 – блок управления.

нормальных и неблагоприятных погодных условиях (снег, дождь, туман).

С 18 декабря 2007 г. по 10 марта 2008 г. в аэропорту “Пулково” (Санкт-Петербург) были проведены сравнительные испытания измерителя ВНГО ДОЛ-2 с облакомером СТ-25 “Vaisala” (Финляндия). Результаты измерений оценивали в условиях осадков, тумана, однослойной, двухслойной, сплошной облачности. Испытания показали, что полученные результаты полностью удовлетворяют заданной погрешности во всем диапазоне измерений. Измеритель высоты нижней границы облаков ДОЛ-2 зарегистрирован в Государственном реестре средств измерения под № 32517-06 (сертификат Госстандарта России – RU.C.27.001.A № 2506 от 14.09.2006) и получил сертификат Межгосударственного авиационного комитета № 436 от 20.03.2007. На данный момент датчик эксплуатируется на платформе

нефтяной скважины в Южно-Сахалинске, в аэропорту Сыктывкара и др. аэропортах. В настоящее время ОАО “ЛОМО” приступило к серийному производству ДОЛ-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зуев В.Е.* Лазер – метеоролог // Л.: Гидрометеоздат, 1974. 96 с.
2. *Ковалев В.А.* Видимость в атмосфере и ее определение // Л.: Гидрометеоздат, 1988. 216 с.
3. *Бочарников Н.В., Солонин А.С., Брылев Г.Б.* Метеорологическое оборудование аэродромов и его эксплуатация // СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 591 с.
4. *Волков О.А., Демин А.В., Константинов К.В., Проценко В.А.* Приемопередающий блок светолокационного измерителя нижней границы облаков // Патент России № 65253. 2007.