

ИЗМЕРИТЕЛЬ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ

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

* ОАО “ЛОМО”, Санкт-Петербург

** ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург

E-mail: const_cv@mail.ru

Изложены принципы построения трансмиссометров и нефелометров, рассмотрены их достоинства и недостатки. Представлен измеритель дальности видимости НИФ-1, использующий достоинства трансмиссометрического и нефелометрического принципов измерения. Обсуждены особенности построения оптической и электрической схем прибора. Приведены практические результаты.

Ключевые слова: нефелометр, трансмиссометр, дальность видимости.

Коды OCIS: 120.5820.

Поступила в редакцию 22.07.2009.

Введение

Ряд метеорологических явлений (дымка, туман, дождь, снегопад, мгла, пыльная буря и др.) могут приводить к значительному ухудшению видимости, что представляет опасность при движении транспорта, затрудняет деятельность ряда отраслей народного хозяйства. Поэтому на сети гидрометеорологических станций всех стран мира наблюдения за видимостью входят в число основных метеорологических наблюдений.

Визуальные наблюдения за видимостью не обеспечивают непрерывность получения данных об опасных явлениях. Кроме того, для них характерны субъективные ошибки. Поэтому оснащение наблюдательной станции приборами для измерения видимости является важной государственной задачей. Приборы измерения видимости оценивают метеорологическую дальность видимости (МДВ), которая определяется как длина пути в атмосфере, необходимая для ослабления светового потока коллимированного пучка света до значения 0,05 первоначальной величины. В существующей практике используются два метода приборных наблюдений за видимостью – метод трансмиссометра (ТМ) и нефелометрический метод. Метод ТМ основан на следующем принципе: в слое заданной длины (так называемая измерительная база) определяется коэффициент прозрачности атмосферы τ , рассчитанный на километровую единицу длины, которая затем по формуле Кошмидера

пересчитывается на МДВ [1]. Метод ТМ является наиболее точным, однако не обеспечивает измерения значений МДВ более 8000 м, которые ограничиваются измерительной базой в соответствии с формулой

$$\delta S = 0,29 \frac{S}{B} \delta \Phi, \quad (1)$$

где δS – погрешность измерения МДВ, S – значение МДВ, B – измерительная база, $\delta \Phi = \Delta \Phi / \Phi$, $\Delta \Phi$ – погрешность фотометрирования, Φ – часть светового потока, ослабленного слоем атмосферы (зарегистрированного приемником).

Этот метод используется на авиаметеорологических станциях для метеообеспечения взлета–посадки воздушных судов, где нужны данные только об ограниченной видимости.

Трансмиссометры разделяют на однобазовые и двухбазовые.

Однобазовый ТМ состоит из двух блоков, размещенных на концах измерительной базы: блока излучения на одном конце и фотоэлектрического приемника на другом.

В двухбазовом ТМ на одном конце измерительной базы размещается блок светоизлучающий, на другом конце – отражатель и приемник света. [2].

В настоящее время в мире используются преимущественно двухбазовые ТМ. В данном классе оборудования ОАО “ЛОМО” разработало и выпускает импульсные фотометры ФИ-2 и современный измеритель дальности видимости

ФИ-3 [3]. Диапазон измерений МДВ прибором ФИ-3 от 60 до 8000 м.

Требуемый диапазон измерения видимости на сети гидрометеорологических станций во всех странах мира составляет от 30 м до 50 км. Такой широкий диапазон может обеспечить нефелометрический (НМ) метод измерения. В основе НМ метода лежит известное в физической оптике явление, заключающееся в том, что пучок света, проходящий через мутную среду, претерпевает рассеяние на взвешенных в ней частицах и вследствие этого приобретает заметную яркость. Эта яркость меняется в зависимости от степени замутнения среды; измеренное значение яркости позволяет судить о степени прозрачности этой среды.

НМ метод измерения прозрачности атмосферы не требует базисных участков, пригоден в светлое и темное время суток, может быть применен в открытой местности, в горах, на море и т. д.

Недостатком НМ метода является ухудшение достоверности данных при наличии осадков в виде дождя и снега. С целью компенсации методических погрешностей при наличии осадков в конструкцию нефелометра вводят дополнительные датчики и преобразователи для выявления типа (твердых, жидких) и интенсивности осадков. Однако полностью компенсировать влияние методических погрешностей не удастся.

Кроме того, поскольку используется незначительный объем воздушной среды, измерения в неоднородной атмосфере для взлетно-посадочной полосы длиной до 5 км оказываются нерепрезентативными. Увеличение достоверности измерений МДВ за счет использования большого числа реализаций невозможно, так как время на измерения ограничено. Согласно требованиям ИСАО инструментальные измерения видимости должны осредняться на интервале 60 с [4].

Так как нефелометр не является самокалибрующимся прибором, для его калибровки требуется сравнение с ТМ при различных погодных явлениях. Только при комплексном использовании нефелометра и ТМ удастся компенсировать недостатки обоих методов измерения, что реализовано, например, в приборе фирмы Vaisala “TL 31” (Финляндия). Однако использование двух приборов с технико-экономической точки зрения нецелесообразно, поскольку приводит к заметному удорожанию и усложнению измерений, что для сети гидрометеорологических станций неприемлемо.

Цель статьи – показать принципиальную возможность создания прибора, совмещающего

достоинства трансмиссометрического и НМ методов измерения видимости.

Состав и функциональная схема измерителя дальности видимости НИФ-1

Разработанный на “ЛОМО” измеритель дальности видимости НИФ-1 совмещает два измерительных канала, объединенные таким образом, что при этом используется общий источник световых импульсов, благодаря чему обеспечивается приемлемая стоимость без ухудшения качества измерений. Состав и конструкция НИФ-1 приведены на рис. 1, функциональная схема – на рис. 2.

Блок излучения (БИ) формирует импульсные оптические сигналы на длине волны $\lambda = 0,85$ мкм и световой поток Φ_0 на выходе. На приемный блок ТМ (БПТМ) поступает световой поток Φ , ослабленный слоем атмосферы на дистанции 50 м. Коэффициент пропускания τ слоя атмосферы на дистанции 50 м рассчитывается в блоке электроники (БЭ) как отношение $\tau = \Phi/\Phi_0$, не зависящее от яркости свечения излучающего светодиода. Рассчитанное значение τ с БЭ по линии связи поступает на блок измерения и индикации (БИИ). В БИИ происходит пересчет коэффициента τ в МДВ с помощью алгоритма, основанного на известной формуле Кошмидера, и далее в цифровом виде он индицируется на табло БИИ.

Свет, рассеянный при его взаимодействии с взвешенными частицами в локальном объеме воздуха, под углом 45° поступает на приемный блок нефелометра (БПН). Далее оценку МДВ S по НМ методу получают из выражения

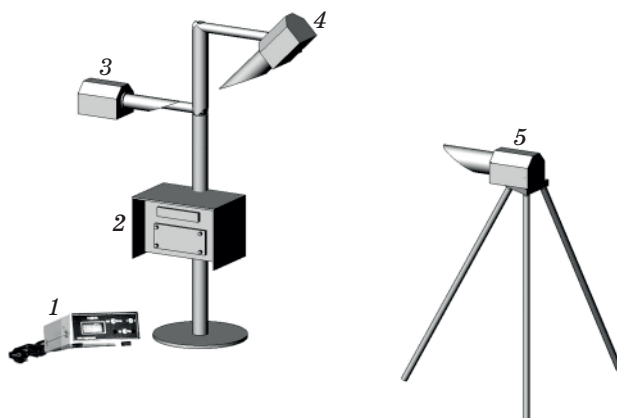


Рис. 1. Состав и конструкция НИФ-1. 1 – блок измерения и индикации, 2 – блок электроники, 3 – блок излучателя, 4 – блок приемный нефелометра, 5 – блок приемный трансмиссометра.

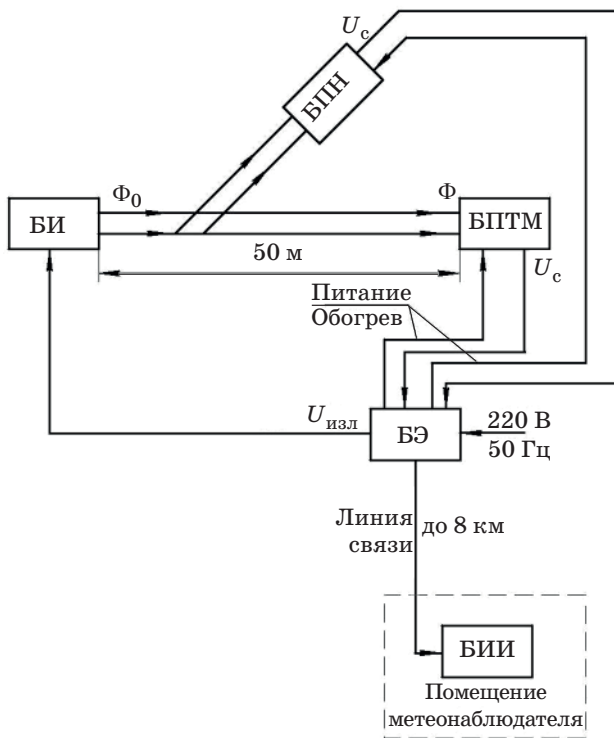


Рис. 2. Функциональная схема НИФ-1 (по-яснения в тексте).

$$S = 3/\rho, \quad (2)$$

где ρ – коэффициент рассеяния.

Измерения по НМ методу осуществляется, когда МДВ становится более 4000 м. Таким образом, на показания МДВ не влияют осадки в виде дождя и снега.

Оптическая система измерителя дальности видимости НИФ-1

Оптическая система НИФ-1 представлена на рис. 3.

Она содержит приемный канал нефелометра (9), приемный канал ТМ (14) и общий для них излучающий канал БИ (5). Приемный канал нефелометра расположен под углом 135° (прямое рассеяние под углом 45°) к передающему каналу. Данный угол обеспечивает линейную связь между показателем ослабления (G) и коэффициентом рассеяния (μ) и для распределения размеров интересующих нас частиц в зондируемом объеме определяется как

$$\mu(45^\circ)/G = 1,45. \quad (3)$$

Максимальное отклонение от значения 1,45 не превосходит $\pm 10\%$.

Приемный канал ТМ расположен напротив передающего на расстоянии 50 м и служит для измерения МДВ от 30 до 4000 м, получения

данных МДВ в осадках и проведения проверок НМ канала.

Передающий канал состоит из излучающего лазерного светодиода EP505L-350IR4 (3) с длиной волны в максимуме излучения $\lambda = 0,85$ мкм, 5-линзового объектива (4) (с фокусом $f' = 24,53$ мм, входной апертурой $A = 0,6$, соответствующей углу охвата $73^\circ 30'$), который формирует параллельный пучок излучения диаметром 40 мм, фотодиода опорного канала (1), узкополосного интерференционного фильтра (2) и наружного защитного стекла (6).

Задача заключалась в измерении рассеянной в заданном ограниченном объеме оптической энергии и была решена с помощью предложенной оптической схемы. Оптическая схема приемного канала нефелометра позволила максимально собрать оптическую энергию на фотоприемную площадку приемника, что в свою очередь повысило информативность приемного канала.

Оптическая система приемного канала нефелометра (9) состоит из кремниевого фотодиода ФДУК-2 (11) с приемной площадкой 7×7 мм, узкополосного интерференционного фильтра (10) и 4-линзового объектива (8), собирающего прямое рассеянное излучение в узком угловом диапазоне.

Приемный канал ТМ состоит из приемника (15) со светофильтром (16), полевой диафрагмы и однолинзового объектива (13).

С целью герметизации в узлах приемников и излучателя установлены защитные стекла (6, 7, 12).

Для минимизации фоновых засветок перед приемниками устанавливаются узкополосные интерференционные светофильтры с рабочей длиной волны $\lambda_p = 0,86$ мкм и полосой пропускания по уровню 0,5 не более 0,05 мкм. Коэффициент пропускания оптической схемы на рабочей длине волны не менее 0,6 пропускания фона в интервале чувствительности фотоприемника –

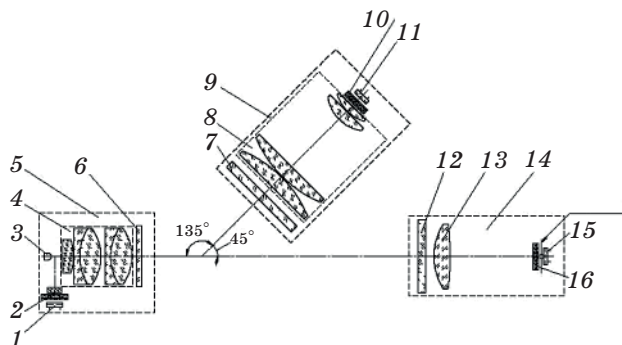


Рис. 3. Оптическая схема НИФ-1 (по-яснения в тексте).

не более 0,01. Данными светофильтрами защищены все приемники излучения.

На все оптические поверхности нанесены просветляющие покрытия, имеющие коэффициент отражения на рабочей длине волны не более 0,5%.

Особенности построения электрической схемы обработки

Энергетический расчет показал, что при МДВ > 5000 м уровень сигнала находится на уровне шумов фотоприемника, сила фототока составляет $I_{\Phi} = 4 \text{ нА}$, поэтому использованы методы выделения полезного сигнала на уровне шумов путем синхронного детектирования.

Для стабильности измерений используется опорный канал, идентичный для схем измерения в обоих измерительных каналах НМ и ТМ.

Применение в обоих каналах однотипных фотодиодов снижает влияние климатических изменений окружающей среды. Используется термостабилизация внутренних объемов блоков БИ, БПН, БПТМ.

Так как измерение прямого рассеяния происходит в открытом пространстве при наличии засветок солнечным излучением, применяется амплитудная модуляция излучения БИ.

В результате того что энергия прямого рассеяния от излучателя крайне мала и измеряется единицами нановатт, вторичные источники излучения и электромагнитные помехи от промышленной сети оказывают влияние на погрешность измерения даже на частоте модуляции 3000 Гц. Поэтому выбрана частота модуляций не кратная 50 Гц, а именно 3010 Гц, при которой влияние вышеперечисленных помех сильно ослабевает.

Построение блока приемника

В приборе предусмотрены технические решения, обеспечивающие работу прибора при боль-

ших фоновых засветках, например, установка узкополосного интерференционного светофильтра, синхронное детектирование, дифференциальное включение фотодиода и др.

Вся обработка сигналов ведется процессорами (которые расположены в БЭ и в БИИ и собраны EPF8636AL184) по специально разработанным программам.

Заключение

В результате проведенных работ была показана принципиальная возможность создания нового класса приборов, совмещающих достоинства трансмиссометрического и нефелометрического методов. В настоящее время на "ЛОМО" разработан и изготовлен макет измерителя дальности видимости НИФ-1. Проведены сравнительные испытания НИФ-1 с ФИ-3, которые показали приемлемую сходимость результатов.

Пределы погрешности при определении МДВ с помощью НИФ-1 в диапазонах h :

– $30 \leq h \leq 200 \text{ м}$	20%
– $200 < h \leq 3000 \text{ м}$	10%
– $3000 < h \leq 30\,000 \text{ м}$	20%

Параллельно ведется разработка программного обеспечения, которое позволит исключить канал трансмиссометра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев В.А. Видимость в атмосфере и ее определение // Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 215 с.
2. Гончаров Ю.М., Волков О.А., Круглов Р.А., Персин С.М. Базисный фотометр // Патент России № 2070717. 1996.
3. Волков О.А., Круглов Р.А., Денисенко С.А., Проценко В.А. Базисный фотометр // Патент России № 83136. 2009.
4. Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере // Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 313 с.