

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035955**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.09.04

(51) Int. Cl. **G01N 21/53** (2006.01)

(21) Номер заявки
201900230

(22) Дата подачи заявки
2019.03.20

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ

(43) **2020.09.03**

(56) WO-A1-1994009356
EP-A2-0664445
CN-A-103323424
EP-B1-1798541
US-A-3146293

(96) **2019/EA/0032 (BY) 2019.03.20**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (БГУ) (BY)**

(72) Изобретатель:
Кугейко Михаил Михайлович (BY)

(57) Изобретение относится к области метеорологии, в частности используется для метеорологического обеспечения взлета и посадки воздушных судов, а также может использоваться дорожными и портовыми службами и относится к области аналитического приборостроения. Задача изобретения - повышение точности определения показателя ослабления оптического излучения и оптической дальности видимости в измерителях прямого рассеяния и их эксплуатационной надежности. Поставленная задача достигается тем, что в способе определения оптической дальности видимости посылку светового излучения в рассеивающий объем среды осуществляют на не менее чем трех длинах волн λ , по двум направлениям под углом φ между ними, на данных длинах волн измеряют сигналы, проходящие через общий рассеивающий объем $P_1(\lambda_i)$ и $P_3(\lambda_i)$ и рассеянные в нем $P_2(\lambda_i)$ и $P_4(\lambda_i)$ двумя приемниками, расположенными противоположно соответствующим им источникам излучения, по измеренным сигналам определяют спектральные значения коэффициентов рассеяния под углом $\sigma(\varphi, \lambda_i)$, с использованием установленных регрессионных соотношений определяют спектральные значения показателей ослабления $\sigma(\lambda_i)$ и по значениям показателей ослабления на длинах волн λ_i , соответствующих порогу контрастной чувствительности глаза, определяют оптическую дальность видимости MOR, равную $3,9\sigma/(\lambda_i)$.

B1

035955

035955

B1

Предполагаемое изобретение относится к области метеорологии, в частности используется для метеорологического обеспечения взлета и посадки воздушных судов, а также может использоваться дозорными и портовыми службами.

Метеорологическая оптическая дальность (MOR) признана Международной электротехнической комиссией (IEC, 1987), официально принята Всемирной метеорологической организацией (ВМО, 1993) в качестве меры видимости в атмосфере и Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) в качестве основной метеорологической величины при определении дальности видимости на взлетно-посадочных полосах (ВПП) [1] (с. 3, 26).

Для обеспечения определения дальности видимости на ВПП, требуемой с точки зрения обеспечения безопасности взлета и посадки воздушных судов, используются методы и средства, обеспечивающие точное измерение в первую очередь (MOR) [1] (с. 26 - 37). Основой для определения MOR с учетом принятого значения порога контрастной чувствительности глаза, равного 0,05, является измерение коэффициента пропускания $\tau = e^{-\sigma l}$, где σ - показатель ослабления светового луча, l - длина пути светового луча, связанного с MOR выражением

$$MOR = l \frac{\ln 0,05}{\ln \tau},$$

или показателя ослабления σ , связанного с MOR выражением

$$MOR = \frac{3}{\sigma}$$

Для измерения коэффициента пропускания (среднего значения коэффициента пропускания в горизонтальном цилиндре воздуха между передатчиком и приемником светового потока) используют трансмиссометры (фотометры) [1] (с. 35-36). Наиболее известные трансмиссометры - Mitras (фирма Yaisala; Финляндия), Flaminga (фирма Impuls -phusik, Германия), Пеленг СФ-01 (фирма "Пеленг" Республика Беларусь), фотометры ФИ-1, ФИ-2, ФИ-3 (Россия). Диапазон и точность измерения MOR данными приборами зависит как от длины измерительной базы, так и точности измерения коэффициентов пропускания, что требует использования таблиц перевода в оптическую дальность для баз разной длины [1] (с. 26-31).

Показатель ослабления σ определяется приборами прямого и обратного рассеяния, измеряющими рассеяние света в определенном исследуемом объеме воздуха, освещенном коллимированным источником света. До 2000 г. в рекомендациях ИКАО приборы прямого и обратного рассеяния не рассматривались в качестве альтернативы трансмиссометрам при определении дальности видимости на ВПП. В настоящее время они рекомендованы наряду с трансмиссометрами для измерения MOR и определения дальности видимости на ВПП на всех аэродромах [1] (с.35). Разработаны и используются несколько типов приборов прямого рассеяния, к которым относятся измерители дальности видимости PWD1/20/50, FD12 и FD12P (Финляндия), Fumesens (Германия), Belfort (Англия), Nandaki (США), Пеленг СЛ-3 (Республика Беларусь). К числу достоинств измерителей прямого рассеяния относятся небольшие размеры и масса передатчика и приемника, удобство и простота технического обслуживания, а главное - измерение MOR во всем диапазоне проводится с одинаковой погрешностью.

Как трансмиссометры, так и измерители прямого рассеяния требуют защиты оптических элементов источников, приемников от загрязнений их окон, появления влаги на них, требуется контроль старения фотоприемного устройства - например ФЭУ, фотодиода, что, в свою очередь, требует наличия системы самотестирования. Поскольку параметры фотоприемных устройств могут изменяться в зависимости от температуры, то необходимо использование нагревательных элементов [2, 3]. Требуется периодическая очистка объектов и колпаков приемников, калибровки. При появлении сигналов предупреждения и тревоги, замене элементов системы (источников, приемников) обязательно проведение калибровочных работ. Все это сильно осложняет эксплуатационные свойства систем.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является способ, реализованный в измерителях прямого рассеяния [2] (с. 17-18), включающий измерение рассеянных сигналов под углами 45°, определения по ним коэффициентов рассеяния под данными углами. Значения MOR по определяемым коэффициентами рассеяния под углами $\sigma(\varphi)$ в данном диапазоне устанавливается с использованием соотношения $(\sigma(\varphi)/\sigma \approx 1,45$ [1 (с.33), 4 (с. 458-460)], где σ - показатель ослабления. Максимальное отклонение от значения 1,45 составляет $\pm 13\%$. А поскольку на точность определения дальности видимости на ВПП наибольшее влияние оказывает точность определения оптической дальности ($MOR = 3,9/\sigma$), то очевидно, что для этого требуется повышение точности определения показателя ослабления σ , а значит и уменьшение погрешности коэффициента связи между σ и $\sigma(\varphi)$. Кроме того, для более достоверной оценки MOR при использовании измерителей прямого рассеяния необходимо идентифицировать атмосферное явление, а также использовать соответствующую калибровку по трансмиссометру. Если в трансмиссометрах в качестве источника света используется белый свет, включающий длины волн наибольшей чувствительности глаза (длины волн $\lambda = 555-556$ нм), то в [2] - инфракрасный, с $\lambda = 875$ нм, что, в свою очередь, также может сказываться на качестве осуществления посадки.

Задачей изобретения является разработка способа определения метеорологической оптической дальности видимости, позволяющего повысить точность определения показателя ослабления оптическо-

го излучения и оптической дальности видимости в измерителях прямого рассеяния и их эксплуатационную надежность.

Поставленная задача достигается тем, что в способе определения оптической дальности видимости путем посылки светового излучения в рассеивающий объем среды, измерения показателя рассеяния под заданным углом, определения показателя ослабления, излучение в рассеивающий объем среды посылают на не менее чем трех длинах волн λ по двум направлениям под углом φ между ними, на данных длинах волн измеряют сигналы, проходящие через общий рассеивающий объем $P_1(\lambda_i)$ и $P_3(\lambda_i)$ и рассеянные в нем $P_2(\lambda_i)$ и $P_4(\lambda_i)$ двумя приемниками, расположенными противоположно соответствующим им источникам излучения, по измеренным сигналам определяют спектральные значения коэффициентов рассеяния под углом $\sigma(\varphi, \lambda_i)$ из выражения

$$\sigma(\varphi, \lambda_i) = \frac{P_2(\lambda_i)P_4(\lambda_i)}{P_1(\lambda_i)P_3(\lambda_i)},$$

определяют спектральные значения показателей ослабления $\sigma(\lambda_i)$ с использованием соотношения

$$\lg \sigma(\lambda_i) = C_{i0} + \sum_{k=1}^3 C_{ik} \lg \sigma(\varphi, \lambda_i),$$

где коэффициенты C_{ik} устанавливают с использованием метода наименьших квадратов из массива $n=1, \dots, S$ рассчитываемых значений $\sigma^n(\lambda_i)$ и $\sigma^n(\lambda_i, \varphi)$, задаваемых в диапазоне разброса микрофизических параметров исследуемой рассеивающей среды, а угол φ соответствует средней по выборке значений $\sigma^n(\lambda_i)$ и $\sigma^n(\lambda_i, \varphi)$ погрешности определения $\sigma(\lambda_i)$ из используемого соотношения связи между $\sigma(\lambda_i)$ и $\sigma(\lambda_i, \varphi)$ при наложении на $\sigma(\lambda_i, \varphi)$ случайного разброса в задаваемых пределах, и по значениям показателей ослабления на длинах волн λ_i , соответствующих порогу контрастной чувствительности глаза, определяют оптическую дальность видимости MOR, равную $3,9\sigma(\lambda_i)$.

Сущность данного изобретения поясняется фиг. 1 и 2. На фиг. 1 представлена блок-схема устройства, реализующего данный способ (одна из возможных). На фиг. 2 приведена зависимость погрешности определения $\sigma(\lambda_i)$ от погрешности определения $\sigma(\lambda_i, \varphi)$.

Рассмотрим реализацию предлагаемого способа на примере использования трех длин волн широко используемого лазера Nd: YAC), включающего и длины волн в области наибольшей чувствительности глаза.

Блок-схема включает два источника оптического излучения 1 и 2 (рассматривается Nd: YAC - лазер, излучающий на длинах волн 0,355 мкм, 0,532 мкм, 1,064 мкм), два фотоприемных устройства 5 и 6 (например, фотодиоды), расположенные противоположно соответствующим им источникам, спектроанализаторы 3 и 4, а также блок управления, регистрации, обработки регистрируемых сигналов 7. По сигналам блока 7 поочередно запускается посылка излучения источниками 1 и 2, фотоприемниками 4 и 5 производится регистрация световых потоков, пропускаемых через спектроанализаторы 3 и 4, с выхода фотоприемных устройств сигналы поступают на вход блока 7, где производится их регистрация (преобразование в цифровые значения, обработка относительно определяемых характеристик, отображение в количественных значениях MOR). Блок 7 управляет также временем поступления проходящего и рассеянного сигналов на него. В другом варианте блок-схемы спектроанализаторы 3 и 4 могут помещаться и после источников, а в качестве источника излучения может быть, например, светодиод, лампа и т.п.

При посылке излучения источником 1 для величины сигналов, регистрируемых на длинах волн λ_i , $i=1, 2, 3$, где $i=1$ соответствует $\lambda_1=0,355$ мкм, $i=2$, $\lambda_2=0,532$ мкм, $i=3$, $\lambda_3=1,064$ мкм, можно записать следующие соотношения

$$P_1(\lambda_i) = P_{01}(\lambda_i)A_{01}(\lambda_i)T_1(\lambda_i)T_4(\lambda_i)B_{04}(\lambda_i), \quad (1)$$

$$P_2(\lambda_i) = P_{01}(\lambda_i)A_{01}(\lambda_i)T_1(\lambda_i)\sigma(\varphi)T_3(\lambda_i)B_{03}(\lambda_i), \quad (2)$$

где $P_1(\lambda_i)$, $P_2(\lambda_i)$ - регистрируемые сигналы, соответствующие спектральной составляющей посылаемого сигнала источником 1 на λ_i ;

P_{01} - спектральная составляющая мощности посылаемого сигнала на длине волны λ_i ;

A_{01} - аппаратная константа источника излучения 1, соответствующая λ_i ;

T_1 , T_3 , T_4 - коэффициенты пропускания на λ_i , соответствующие участкам между источником 1 и рассеивающим объемом, рассеивающим объемом и приемниками 3 и 4;

$$T = \exp\{-\sigma \cdot l_i\},$$

где l_i - длина участков, соответствующих T_1 , T_3 , T_4 ,

$B_{03}(\lambda_i)$, $B_{04}(\lambda_i)$ - аппаратные константы соответственно спектроанализаторов 3, приемников 5 и спектроанализаторов 4, приемников 6 на длине волны λ_i ,

$\sigma(\varphi)$ - коэффициент рассеяния общего рассеивающего объема под углом φ при посылке излучения на длине волны λ_i .

Аналогичные выражения можно записать для регистрируемых сигналов на длине волны λ_i при посылке излучения источником 2

$$P_3(\lambda_i) = P_{02}(\lambda_i)A_{02}(\lambda_i)T_2(\lambda_i)T_3(\lambda_i)B_{03}(\lambda_i), \quad (3)$$

$$P_4(\lambda_i) = P_{02}(\lambda_i)A_{02}(\lambda_i)T_2(\lambda_i)\sigma(\varphi)T_4(\lambda_i)B_{04}(\lambda_i), \quad (4)$$

где A_{02} - аппаратурная константа источника излучения 2, соответствующая λ_i ;

$P_{02}(\lambda_i)$ - спектральная составляющая мощности посылаемого сигнала на длине волны λ_i ;

T_2 - коэффициент пропускания на λ_i , соответствующий участку между источником 2 и рассеивающим объемом.

Из (1)-(4) легко получится следующее соотношение

$$\sigma^2(\varphi, \lambda_i) = \frac{P_2(\lambda_i)P_4(\lambda_i)}{P_1(\lambda_i)P_3(\lambda_i)} \quad (5)$$

Аналогичные выражения можно записать и для спектральных составляющих сигналов не только на длинах волн $\lambda_1=0,355$ мкм, $\lambda_2=0,532$ мкм и $\lambda_3=1,064$ мкм (гармоники Nd:AUG - лазера), но и для любого другого спектрального диапазона, соответствующего другим источникам излучения (в том числе и для белого света, включающего длины волн наибольшей чувствительности глаза).

Как видно из (5), регистрируемые сигналы не включают аппаратурные константы P_{0i} , A_{0i} , B_{0i} , что говорит о том, что изменение данных констант не влияет на значения $\sigma(\varphi)$, т.е. нестабильность аппаратурных констант источников, приемников не сказывается на результате измерений $\sigma(\varphi)$, а значит исключаются и методические погрешности, обусловленные данными факторами. Поскольку аппаратурные константы включают и степень загрязнения оптических элементов источников и приемников, зависимость их от изменений температуры, то в данной схеме эти факторы не будут сказываться на результате измерения $\sigma(\varphi)$, а, значит нет необходимости использовать защиту от загрязнений. Не влияет на результат измерений и окружающая среда, поскольку, как видно из (5), выражения для T , которые характеризуют пропускание участков, в нем отсутствуют.

Таким образом, поскольку с использованием предложенной схемы измерений исключаются методические погрешности, обусловленные нестабильностью аппаратурных констант источников, приемников, загрязнение оптических элементов, изменением в окружающей среде, то точность определения $\sigma(\varphi)$ будет выше, чем в используемых схемах измерения $\sigma(\varphi)$.

Как уже отмечено выше, для установления величины MOR требуются знания не $\sigma(\varphi)$, а показателя ослабления σ , связанного с MOR соотношением $MOR=3,9/\sigma$. Устойчивая связь между $\sigma(\varphi)/\sigma \approx 1,45$ с погрешностью $\pm 13\%$ установлена для углов $\sim 45^\circ$. Так, в [2], например, для измерений используется угол 45° , в [3] - угол 42° . Как отмечено в [4] (с. 458 - 460), данный коэффициент связи зависит от атмосферных ситуаций. Очевидно, что установление более устойчивой (с меньшей погрешностью) зависимости между $\sigma(\varphi)$ и σ позволит повысить и точность определения MOR. Ниже показывается возможность повышения точности определения коэффициентов связи между $\sigma(\varphi)$ и σ путем проведения дополнительных измерений (с использованием спектральных измерений $\sigma(\lambda, \varphi)$).

В целях выбора оптимального угла приема рассеянного излучения (в плане точности получения значений $\sigma(\lambda)$) решается задача получения регрессивных соотношений между $\sigma(\lambda)$ и $\sigma(\lambda, \varphi)$. Величины $\sigma(\lambda)$ и $\sigma(\lambda, \varphi)$ рассчитывались по формулам Ми [5] (с. 107-138, 178-183, 602-616). Для отмеченных только что целей использовалась линейная регрессия в виде

$$\lg \sigma(\lambda_i) = C_{i0} + \sum_{k=1}^3 C_{ik} \lg \sigma(\varphi, \lambda_k) \quad (6)$$

в которой используются логарифмы величин $\sigma(\lambda)$ и $\sigma(\lambda, \varphi)$, т.к. в этом случае мы имеем дело с числами одного порядка, а абсолютная ошибка логарифма дает оценку относительной ошибке самой величины. Численные значения коэффициентов C_{ik} определяются с использованием массива рассчитанных значений $\sigma(\lambda)$ и $\sigma(\lambda, \varphi)$ по методу наименьших квадратов

$$\min \sum_{i=1}^3 \left[\lg \sigma^n(\lambda_i) - C_{i0} - \sum_{k=1}^3 C_{ik} \lg \sigma^n(\varphi, \lambda_k) \right]^2, \quad (7)$$

где $n=1, \dots, S$ - номер реализации микрофизических параметров рассеивающей среды с соответствующими им оптическими характеристиками $\sigma^n(\lambda)$ и $\sigma^n(\lambda, \varphi)$; S - объем выборки (массива рассчитанных значений $\sigma(\lambda)$ и $\sigma(\lambda, \varphi)$); $\lambda_1=0,355$ мкм, $\lambda_2=0,532$ мкм, $\lambda_3=1,064$ мкм.

Для получения ансамбля расчетных данных, состоящего из $S=1500$ рассчитанных реализаций $\sigma(\lambda)$ и $\sigma(\lambda, \varphi)$, использовались модели атмосферы [6 (с.24-76),7]. Модель [7] принята для использования Всемирной метеорологической организацией (WMO). Ансамбль расчетных данных $\sigma(\lambda)$ и $\sigma(\lambda, \varphi)$ получен путем независимых равномерно распределенных вариаций микрофизических характеристик, соответствующих аэрозольному показателю ослабления и рассеяния под углом,

$$\sigma_a(\lambda) = N \int_0^{\infty} K_{\sigma}(m, r, \lambda) f(r) dr$$

$$\sigma(\varphi, \lambda) = N \int_0^{\infty} K_{\sigma_{\varphi}}(m, r, \lambda) f(r) dr$$

и молекулярному

$$\sigma_m(\lambda) = \frac{8\pi(m^2 - 1)^2}{2N\lambda^4}$$

$$g(\lambda, \varphi) = \frac{3}{4}(1 + \cos^2 \varphi),$$

где N - концентрация аэрозольных и молекулярных частиц, m - показатель преломления, r - размер аэрозольных частиц, $f(r)$ - функция распределения по размерам, φ - угол рассеяния, $K_{\sigma}(m, r, \lambda)$, $K_{\sigma_{\varphi}}(m, r, \lambda)$ - факторы эффективности ослабления и рассеивания под углом, рассчитываемым по теории Ми [5]. По задаваемым случайным образом значениям микрофизических характеристик из диапазона, включающего как мелкодисперсные фракции - от 0,03 мкм, так и крупные - до размеров капли дождя, рассчитывались оптические характеристики $\sigma(\lambda)$ и $\sigma(\lambda, \varphi)$ для аэрозоля, а также молекулярного рассеяния, по ансамблю которых устанавливалась, по методу наименьших квадратов, коэффициенты C_{ik} , входящие в уравнение множественной регрессии (6). Для учета вклада ошибок и разброса экспериментальных данных, на которых основана модель, помимо равномерного варьирования микрофизических параметров на рассчитываемые значения $\sigma(\lambda, \varphi)$, используемые в (6), накладывался 10% случайный разброс.

В целях выбора оптимального угла измерения рассеянного излучения (в плане точности получения значений $\sigma(\lambda_i)$) приведен расчет средней по выборке значений $\sigma^n(\lambda_i)$ и $\sigma^n(\lambda_i, \varphi)$ погрешности определения $\sigma(\lambda_i)$ ($i=1, 2, 3$) из (6) для углов в диапазоне $\varphi=1-180^\circ$, при наложении на $\sigma(\lambda_i, \varphi)$ случайного разброса в пределах 2,5% (что учитывает чувствительность соответствующих регрессионных уравнений к погрешностям измерения $\sigma(\lambda_i, \varphi)$)

$$\delta\sigma(\varphi) = \frac{1}{s} \sum_{n=1}^s \left[\frac{1}{\sigma^n(\lambda_i)} \left| \sigma^n(\lambda_i) - C_{i0} - \sum_{k=1}^3 C_{ik} (\sigma^n(\varphi, \lambda_k) \pm \delta\sigma) \right| \right]$$

При каждом φ коэффициенты C_{ik} определялись методом наименьших квадратов (7). Рассчитанные зависимости $\delta\sigma(\varphi)$ изображены на фиг. 2. Как видно из рисунка, наименьшие погрешности определены $\delta\sigma(\varphi)$ соответствуют диапазону $30-40^\circ$. Коэффициенты множественной регрессии (6) для $\sigma(\lambda)$ и $\sigma(\lambda, \varphi)$ под углом 35° , соответствующие отмеченному выше диапазону разброса микрофизических характеристик, приведены в таблице.

Определяемые характеристики	C_{i0}	C_{i1}	C_{i2}	C_{i3}
$\sigma(\lambda_1), \text{км}^{-1}$	0,8053	0,54	0,178	0,32
$\sigma(\lambda_2), \text{км}^{-1}$	0,79	0,03	0,53	0,467
$\sigma(\lambda_3), \text{км}^{-1}$	0,76	0,14	-0,32	1,213

Установленные значения C_{ik} соответствуют всему диапазону разброса микрофизических параметров атмосферы, т.е. всем атмосферным ситуациям модели атмосферы Всемирной метеорологической организации (WMO).

О точности определения $\sigma(\lambda_i)$ из спектральных значений показателя ослабления под указанным углом можно судить из рассчитанных погрешностей

$$\delta\sigma(\lambda_i) = \frac{|\sigma(\lambda_i) - \sigma^*(\lambda_i)|}{\sigma(\lambda_i)},$$

где $\sigma(\lambda_i)$ и $\sigma^*(\lambda_i)$ - соответственно точное и полученное с использованием регрессивного соотношения (6) показателя ослабления.

Погрешность определения $\sigma(\lambda_i)$ составляет для $\sigma(\lambda_1)=2,2\%$, $\sigma(\lambda_2)=1,8\%$, $\sigma(\lambda_3)=2,9\%$. Данные значения погрешностей определения показателя ослабления $\sigma(\lambda_i)$ получены в рамках используемой модели [6, 7] с учетом 2,5% погрешностей измерения $\sigma(\varphi, \lambda_i)$. Такие погрешности, и даже меньшие, достигаются при использовании описанной выше схемы (фиг. 1) измерения $\sigma(\varphi, \lambda_i)$, исключая методические погрешности, обусловленные разбросом аппаратурных констант измерительной аппаратуры, загрязнением оптических элементов, влиянием окружающей среды.

Оценка погрешности определения $\sigma(\lambda_i)$ по измеряемым значениям $\sigma(\varphi, \lambda_i)$ на отмеченных выше длинах волн произведена в связи с тем, что существует источник излучения на этих длинах волн, и $\lambda_2=0,532$ мкм соответствует диапазону наибольшей чувствительности глаза человека.

Предлагаемая методика определения $\sigma(\lambda_i)$ по значению $\sigma(\varphi, \lambda_i)$ может быть использована и при других длинах волн (например, и для длин волн, соответствующих трансмиссограмм), других углов, вклю-

чая обратное рассеяние, для других атмосферных ситуаций (путем задания соответствующего разброса микрофизических характеристик рассеивающих сред, как аэрозольных, так и молекулярных). Установление соответствующих им коэффициентов C_{ik} с использованием предлагаемых алгоритмов не представляет существенных трудностей для специалистов.

Таким образом, предлагаемый способ измерения оптической дальности видимости приборами прямого и обратного рассеяния позволяет повысить точность ее измерения как за счет повышения точности измерения показателя рассеяния под углом (за счет исключения методических погрешностей, обусловленных отмеченными выше составляющими), так и за счет исключения погрешности, обусловленной использованием коэффициента связи между показателем рассеяния под углом $\sigma(\varphi)$ и показателем ослабления σ , установленным с погрешностью $\pm 13\%$. В предлагаемом способе связь $\sigma(\varphi)$ и σ устанавливается с погрешностью менее 3%, а для $\lambda=0,532$ мкм с погрешностью $<2\%$. Суммарная погрешность определения MOR при этом будет $\approx 5\%$ (меньше, чем в существующих в настоящее время измерителях). При этом предлагаемый способ значительно улучшает эксплуатационные свойства измерительной системы за счет устранения необходимости тотального контроля за загрязнением оптических элементов источников, приемников, слежения за температурой среды, проведения частых калибровочных измерений. Другими словами, система становится эксплуатационно более надежна. Это обуславливается появляющимися достоинствами измерения $\sigma(\varphi)$, исключающими зависимость от измерения аппаратных констант измерительной системы, от изменений в окружающей среде. Это, а также использование устанавливаемого коэффициента связи между $\sigma(\varphi)$ и σ с погрешностью $<3\%$ позволяет не меньше чем в 2 раза повысить точность определения MOR измерителями прямого рассеяния. При этом следует отметить, что данными измерителями измерения проводятся с одинаковой погрешностью во всем диапазоне изменений MOR. Кроме того, важным достоинством является возможность исключения необходимости идентификации атмосферных явлений, если в получении коэффициентов C_{ik} закладывается разброс их микрофизических характеристик, т.е. могут не использоваться датчики погоды.

Источники информации, принятые во внимание

1. Руководство по определению дальности видимости на ВВП (RVR). Издательский центр АНО "Метеоагентство Росгидромет", 2006г. - С. 3, 26-37.
2. Руководство пользователя. Датчик видимости Yaisala PWD10/20/50 - file_259.pdf-Adobe Reader.- С.17-18.
3. Руководство пользователя. Датчик видимости FS11- file_14.pdf-Adobe Reader. - С. 17-19.
4. Иванов А.П. Оптика рассеивающих сред. Минск: Наука и техника, 1969. - С. 458-460.
5. Борен К., Хоффман Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами: пер. с англ. М; Мир, 1986г. - С.107-138, 178 - 183, 602-616.
6. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосферы, т.2. Ленинград: Гидрометеиздат. 1986г. - С. 24 - 76.
7. World Meteorological Organization. World Climate Research Programme: A preliminary cloudless standard atmosphere for radiation computation. Geneva: Switzerland, Report WCP-112, WMO/TD-24. 1986.-5-52.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

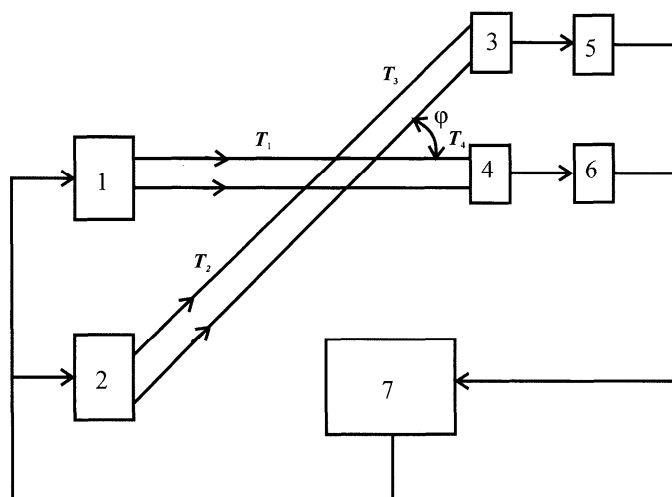
Способ определения метеорологической оптической дальности видимости путем посылки светового излучения в рассеивающий объем среды, измерения показателя рассеяния под заданным углом, определения показателя ослабления, отличающийся тем, что излучение в рассеивающий объем среды посылают на не менее чем трех длинах волн λ по двум направлениям под углом φ между ними, на данных длинах волн измеряют сигналы, проходящие через общий рассеивающий объем $P_1(\lambda_i)$ и $P_3(\lambda_i)$ и рассеянные в нем $P_2(\lambda_i)$ и $P_4(\lambda_i)$ двумя приемниками, расположенными противоположно соответствующим им источникам излучения, по измеренным сигналам определяют спектральные значения коэффициентов рассеяния под углом $\sigma(\varphi, \lambda_i)$ из выражения

$$\sigma(\varphi, \lambda_i) = \frac{P_2(\lambda_i)P_4(\lambda_i)}{P_1(\lambda_i)P_3(\lambda_i)},$$

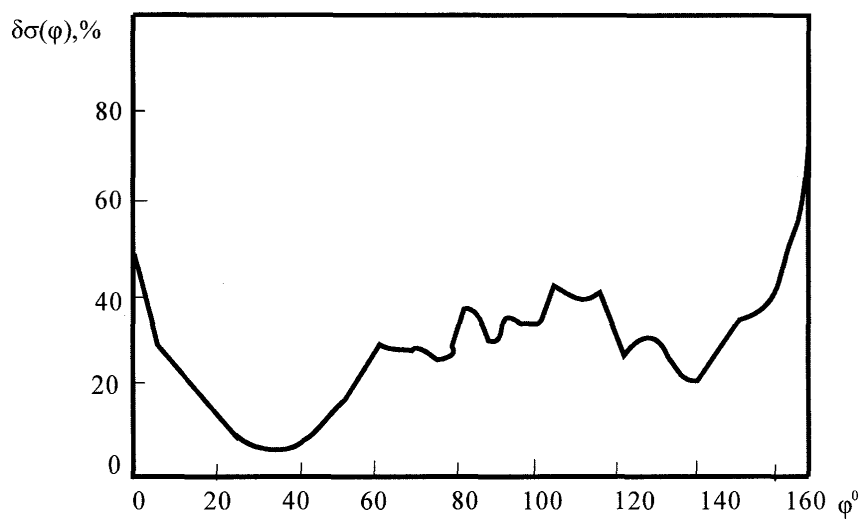
определяют спектральные значения показателей ослабления $\sigma(\lambda_i)$ с использованием соотношения

$$\lg \sigma(\lambda_i) = C_{i0} + \sum_{k=1}^3 C_{ik} \lg \sigma(\varphi, \lambda_i),$$

где коэффициенты C_{ik} устанавливают с использованием метода наименьших квадратов из массива $n=1, \dots, S$ рассчитываемых значений $\sigma^n(\lambda_i)$ и $\sigma^n(\lambda_i, \varphi)$, задаваемых в диапазоне разброса микрофизических параметров исследуемой рассеивающей среды, а угол φ соответствует средней по выборке значений $\sigma^n(\lambda_i)$ и $\sigma^n(\lambda_i, \varphi)$ погрешности определения $\sigma(\lambda_i)$ из используемого соотношения связи между $\sigma(\lambda_i)$ и $\sigma(\lambda_i, \varphi)$ при наложении на $\sigma(\lambda_i, \varphi)$ случайного разброса в задаваемых пределах, и по значениям показателей ослабления на длинах волн λ_i , соответствующих порогу контрастной чувствительности глаза, определяют оптическую дальность видимости MOR, равную $3,9/\sigma(\lambda_i)$.



Фиг. 1.



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2