

УДК 535.016

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ФАКТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Бобров В.Н.

ФКОУ ВПО «Воронежский институт ФСИН России», Воронеж, e-mail: vifsin@mail.ru

В статье изложены подходы к рассмотрению нижней части приземного слоя атмосферы толщиной 2 метра от подстилающей поверхности как плоско-слоистой среды с некоторыми постоянными среднестатистическими значениями показателя преломления атмосферы при синоптических условиях, когда турбулентность минимальна, а факторы, ухудшающие видимость, отсутствуют. Получены математические выражения для расчета антропогенного загрязнения с использованием информации о вертикальном профиле гидрометеорологических элементов и данных о траектории оптического сигнала, прошедшего через приземный слой атмосферы. Разработаны способ и техническое устройство для определения антропогенного загрязнения приземного слоя атмосферы на примере окиси углерода. Работа устройства была экспериментально проверена с использованием макета устройства и газоанализатора. Для мониторинга состояния окружающей среды моделировалось антропогенное загрязнение приземного слоя атмосферы работающим карбюраторным двигателем на различных режимах работы. В результате моделирования установлено, что погрешность результатов измерений концентрации окиси углерода, полученная с помощью газоанализатора и макета устройства, не превышает 10-15%. Таким образом, проведенные исследования делают возможным использование предложенного способа в практической деятельности.

Ключевые слова: показатель преломления, приземный слой атмосферы, вертикальный профиль, гидрометеорологические величины, антропогенное загрязнение

INFORMATION SYSTEM FOR REPORTING THE ACTUAL STATE OF THE ENVIRONMENT

Bobrov V.N.

Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service, Voronezh, e-mail: vifsin@mail.ru

The article describes the approach to the consideration of the 2 meters atmospheric boundary lower part layer from the underlying surface as flat – layered medium with some constant average statistical values of the atmosphere refractive index at the synoptic conditions when turbulence is minimal, and there are no factors impairing visibility. The mathematical expressions for the anthropogenic pollution calculation, using information on the meteorological elements vertical profile and the data on an optical signal path through the atmosphere surface layer are received. The method and apparatus for determining the atmosphere surface layer technical man-made pollution by the example of carbon monoxide are developed and designed. The device has been experimentally tested using its model and a gas analyzer. To monitor the environment status the atmospheric boundary layer anthropogenic pollution was modeled by carbureted engine running on different operating modes. It is stated that the error measurement results the carbon monoxide concentration obtained by a gas analyzer and the device model does not exceed 10-15%. Thus, our studies make it possible to use the proposed method in practice.

Keywords: refractive index, the surface layer of the atmosphere, the vertical profile, hydro-meteorological quantities, anthropogenic pollution

В настоящее время существует проблема защиты окружающей среды от загрязнения ее токсичными компонентами отработавших газов всех видов транспорта, успешное решение которой во многом зависит от организации непрерывного контроля за состоянием приземного слоя атмосферы, в частности, ее нижней части [9].

К числу основных токсичных веществ, выделяемых с отработавшими газами, относятся: окись углерода (91,5%), углеводороды (4,6%), окислы азота (3,1%), свинец (0,1%), сажа (0,2%) и др. [9]. Применяемые технологии прямого забора химических проб в исследуемых пространствах обладают высокой точностью, но достаточно дорогостоящие, носят точечный характер и дискретны во времени.

Целью работы является разработка системы контроля антропогенных веществ, использующей сведения о вертикальном распределении гидрометеорологических

величин в нижней части приземного слоя атмосферы, а также разработка устройства и его техническая реализация.

При исследовании быстротекущих процессов организация экологической безопасности требует непрерывного контроля токсичного компонента. Очевидно, что себестоимость такого контроля должна быть минимальной. Данным требованиям отвечают технологии косвенных оценок, например, оптические методы исследования нижней части приземного слоя атмосферы. В качестве источника информации об оптических свойствах исследуемого слоя атмосферы может служить показатель преломления, величина которого рассчитывается с использованием известного соотношения [7]:

$$N = K_1 \frac{p_1}{T} + K_2 \frac{e}{T} + K_3 \frac{e}{T^2}, \quad (1)$$

где p_1 – парциальное давление сухого воздуха, мб; e – парциальное давление водяного пара,

мб; T – абсолютная температура, K ; $K_1 \dots K_3$ – коэффициенты пропорциональности.

Различия в значениях показателя преломления атмосферы приводят к искривлениям траектории зондирующего оптического сигнала на наклонной трассе при углах, близких к 90° [4]. Последнее представляет вполне конкретный практический интерес, поскольку несет информацию как о вертикальном профиле гидрометеорологических величин, так и о величине антропогенного загрязнения.

Данные о величине градиентов показателя преломления позволяют высказать предположение о том, что на уровне математического представления структура нижней части приземного слоя атмосферы может быть представлена как плоско-слоистая среда с некоторыми постоянными среднестатистическими значениями показателя преломления атмосферы при синоп-

тических условиях, когда турбулентность минимальна, а факторы, ухудшающие видимость, отсутствуют.

Структуру нижней части приземного слоя атмосферы можно представить в виде плоско-слоистой среды, где необходимо выделить границу раздела соседних слоев с различными значениями показателя преломления. Вертикальный профиль показателя преломления n_0, \dots, n_i определяется гидрометеорологическими величинами [3] на соответствующих уровнях. Траектория прохождения оптического сигнала с уровня n_0 до уровня с n_i по наклонной трассе может быть охарактеризована горизонтальной проекцией S .

Поведение траектории зондирующего оптического сигнала определяется вертикальным профилем показателя преломления, и в случае $n_0 = n_p$, $n_0 < n_p$, $n_0 > n_p$ траектория имеет соответственно вид 1, 2, 3 (рис. 1).

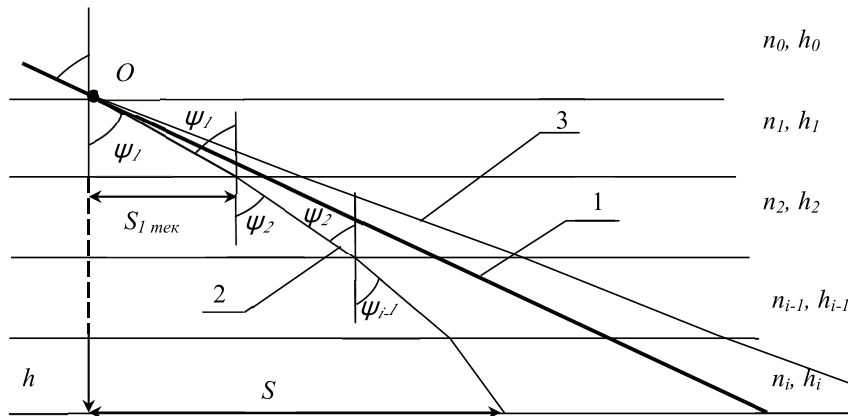


Рис. 1. Структура нижней части приземного слоя атмосферы

Из курса общей физики известно, что при прохождении зондирующего оптического сигнала границы раздела слоев с различными показателями преломления справедливо соотношение [8]:

$$n_0 \sin \psi_0 = n_1 \sin \psi_1, \quad (2)$$

$$S_{\text{itek}} = \frac{n_i}{\gamma_{n_{i-1}}} \sin \psi_{i-1} \ln \left[\frac{\cos \psi_{i-1} + 1}{\frac{n_i}{n_{i-1}} + \sqrt{\frac{n_i^2}{n_{i-1}^2} - \sin^2 \psi_{i-1}}} \right], \quad (3)$$

где $\gamma_{n_0} = \frac{n_1 - n_0}{h_1 - h_0}$; $n_i = 1 + N_i \cdot 10^{-6}$.

Данное выражение позволяет оценить влияние вертикального профиля гидрометеорологических величин на поведение

траектории 1 (рис. 1) в приземном слое атмосферы при отсутствии факторов, ухудшающих видимость.

Горизонтальная проекция траектории зондирующего оптического сигнала (S_{itek}) может быть рассчитана с помощью выражения следующего вида [2]:

траектории 1 (рис. 1) в приземном слое атмосферы при отсутствии факторов, ухудшающих видимость.

С практической точки зрения представляет интерес решение обратной задачи – восстановление показателя преломления на

любом интересующем потребителя уровне по данным о горизонтальной проекции траектории ($S_{тек}$) и показателя преломления на верхнем (n_0) уровне (рис. 1), которая может быть реализована на основе решения (3).

Кривизна траектории AB (рис. 2) обусловлена изменением вертикального профиля показателя преломления атмосферы и связана с изменением угла (ψ_{i-1}) на величину угла рефракции (α).

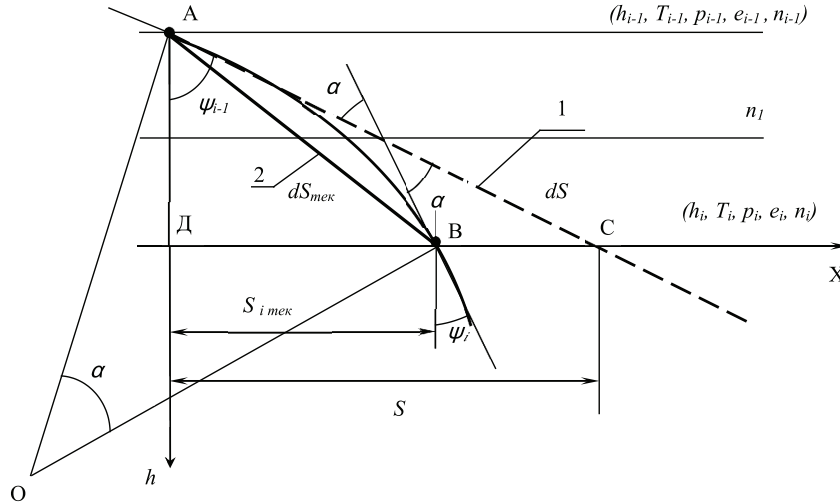


Рис. 2. Прохождение оптического сигнала нижней части приземного слоя атмосферы

Радиус кривизны дуги AB определяется известным соотношением [1]:

$$R = \frac{S_{тек}^*}{\alpha}, \quad (4)$$

где $R = O'A$ – радиус кривизны; $S_{тек}^*$ – хорда AB ; α – угол между радиусами $O'A$ и $O'B$, равный величине угла рефракции,

$\alpha = 2 \cdot \left(\frac{h_{i-1} - h_i}{S_i^*} - \frac{h_{i-1} - h_i}{S_{i,тек}^*} \right)$ и получено из треугольников ADB и ADC .

Проведя несложные математические преобразования, показатель преломления атмосферы в i -м слое можно представить в следующем виде:

$$N = K_1 \frac{p_1}{T} + K_2 \frac{e}{T} + K_3 \frac{e}{T^2} + K_4 \frac{p_{CO}}{T} + K_5 \frac{p_{CH}}{T} + K_6 \frac{p_{NO}}{T} + \dots, \quad (6)$$

где $p_{CO} \dots p_{NO}$ – парциальные давления токсичных компонентов, мб; $K_4 \dots K_6$ – коэффициенты пропорциональности.

За эталон токсичности рекомендуется принимать окись углерода [9]. Вы-

$$n_i = n_{i-1} \left\{ \frac{2(h_i - h_{i-1})^2 \left(\frac{11}{S_i^*} - \frac{1}{S_{i,тек}^*} \right)}{S_{i,тек}^*} + 1 \right\}. \quad (5)$$

Данная модель справедлива для атмосферы, содержащей водяной пар. Реальный газовый состав приземного слоя содержит токсичные компоненты, вносимые различными видами транспорта. Поэтому для полной характеристики приземного слоя необходимо произвести их учет.

В соответствии с законом Дальтона показатель преломления реальной атмосферы может быть получен с помощью выражения [2]

ражение для расчета концентрации последнего в i -м слое атмосферы по данным исследования атмосферы на наклонной трассе может быть представлено в следующем виде:

$$C_{CO} = \frac{1}{93} \left(T_i (n_i - 1) \cdot 10^6 - 77,6 p_i - 72 e_i - 3,75 \cdot 10^5 \frac{e_i}{T_i} \right). \quad (7)$$

С учетом известного процентного содержания окиси углерода, используемого как реперная величина, можно судить и о полном спектре токсичных компонен-

тов, например, для двигателей внутреннего сгорания [9].

Таким образом, для расчета концентрации окиси углерода достаточно иметь

гидрометеорологические параметры исследуемого приземного слоя атмосферы (T_p, p_p, e_p) и данные эксперимента ($\Delta h, S_{\text{тек}}$), где n рассчитывается по выражению (5).

На основе изложенного выше был разработан способ [5] и устройство [6] для определения загрязнения окисью углерода приземного слоя атмосферы.

В общем случае при отсутствии антропогенных веществ (рис. 3, траектория 1) преломляющие свойства приземного слоя

атмосферы определяются водяным паром. При этом проекция оптического луча на базе AB будет определяться функциональной зависимостью

$$S_0 = f(n_0, h_0, \varphi_0) = f(e, P, T, h_0, \varphi_0), \quad (8)$$

где n_0 – показатель преломления атмосферы в приземном слое; e – парциальное давление водяного пара; P – атмосферное давление; T – абсолютная температура воздуха в приземном слое.

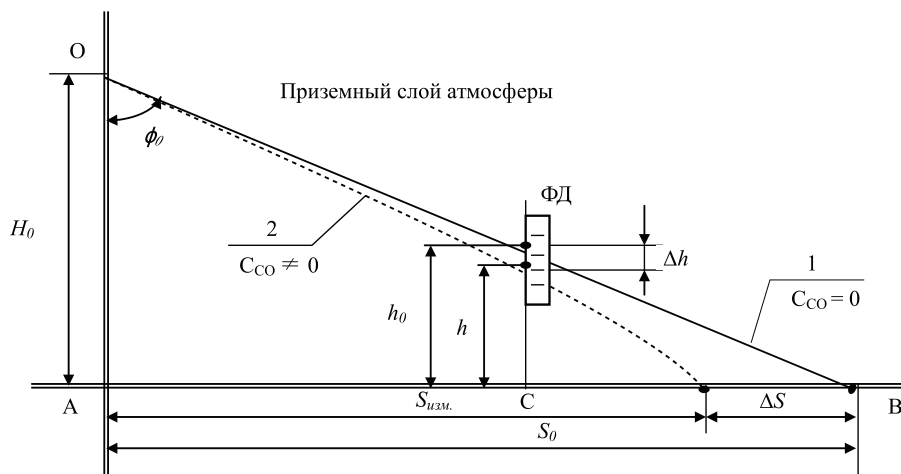


Рис. 3. Измерительная схема оценки наличия окиси углерода

Наличие окиси углерода вносит изменение в траекторию оптического луча. Фактическая траектория 2 (рис. 3) оптического

луча приводит к изменению исходной проекции к виду S , которая определяется аналогичной функциональной зависимостью:

$$S_{\text{изм}} = f(n, h_0, \varphi_0) = f(e, P, T, C_{\text{co}}, h_0, \varphi_0), \quad (9)$$

где n – показатель преломления атмосферы в приземном слое с учетом влияния окиси углерода; C_{co} – концентрация окиси углерода в исследуемой атмосфере.

Измерительная база AB может быть значительно сокращена до линейной величины AC , поскольку, как следует из рис. 3, справедливо следующее отношение:

$$S_{\text{изм}}/S_0 = h/h_0. \quad (10)$$

Применение фотодетекторной системы обработки для зондирующего оптического луча 2 позволяет автоматизировать процесс оценки наличия окиси углерода в исследуемой атмосфере и создавать автоматизированные посты контроля по данному виду загрязнения.

Заключение

Работа устройства была экспериментально проверена с использованием макета устройства и газоанализатора. Ан-

тропогенные вещества в нижней части приземного слоя атмосферы были смоделированы работающим карбюраторным двигателем автомобиля при различных режимах работы двигателя. Погрешность результатов измерений концентрации окиси углерода, полученная с помощью газоанализатора и макета устройства, не превышает 10–15%, что делает возможным использование предложенного способа в практической деятельности.

Список литературы

1. Бин Б.Р., Даттон Е. Дж., Радиометеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 362 с.
2. Бобров В.Н. Влияние вертикального распределения показателя преломления атмосферы на визуальное определение местоположения взлетно-посадочной полосы с борта воздушного судна / В.Н. Бобров, Г.С. Нахмансон // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 1. – С. 58–63.
3. Бобров В.Н. Исследование сезонных и суточных изменений температуры воздуха // Приволжский научный вестник. – 2013. – № 1. – С. 4–6.

4. Бобров В.Н. О сезонном и суточном изменении вертикального профиля показателя преломления атмосферы в приземном слое / В.Н. Бобров, Г.С. Нахмансон // *Метеорология и гидрология*. – 2002. – № 12. – С. 36–39.

5. Бобров В.Н., Ус Н.А. Способ определения загрязнения окисью углерода приземного слоя атмосферы автотранспортными средствами // Патент России № 2255360.2005. Бюл. № 18.

6. Бобров В.Н., Ус Н.А. Устройство для определения загрязнения окисью углерода приземного слоя атмосферы автотранспортными средствами // Патент России № 255361.2005. Бюл. № 18.

7. Казаков Л.Я., Ломакин А.Н. Неоднородности коэффициента преломления воздуха в тропосфере. – М.: Наука, 1976. – 165 с.

8. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Том III. Оптика, атомная физика. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1952. – 800 с.

9. Якубовский Ю. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды: пер. с польск. – М.: Транспорт, 1979. – 198 с.

4. Bobrov V.N. O sezonnom i sutochnom izmenenii vertikal'nogo profilja pokazatelja prelomlenija atmosfery v prizemnom sloe / V.N. Bobrov, G.S. Nahmanson // *Meteorologija i gidrologija*. 2002. no. 12. pp. 36–39.

5. Bobrov V.N., Us N.A. Sposob opredelenija zagrjaznenija okis'ju ugleroda prizemnogogo sloja atmosfery avtotransportnymi sredstvami // Patent Rossii № 2255360.2005. Bjul. no. 18.

6. Bobrov V.N., Us N.A. Ustrojstvo dlja opredelenija zagrjaznenija okis'ju ugleroda prizemnogogo sloja atmosfery avtotransportnymi sredstvami // Patent Rossii no. 255361.2005. Bjul. no. 18.

7. Kazakov L.Ja., Lomakin A.N. Neodnorodnosti koeficienta prelomlenija vozduha v troposfere. M.: Nauka, 1976. 165 p.

8. Frish S. Je., Timoreva A.V. Kurs obshhej fiziki. Tom III. Optika, atomnaja fizika. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo tehniko-teoreticheskoj literatury, 1952. 800 p.

9. Jakubovskij Ju. Avtomobil'nyj transport i zashhita okruzhajushhej sredy. Per. s pol'sk. M.: Transport, 1979. 198 p.

References

1. Bin B.R., Datton E. Dzh., Radiometeorologija. L.: Gidrometeoizdat, 1971. 362 p.
 2. Bobrov V.N. Vlijanie vertikal'nogo raspredelenija pokazatelja prelomlenija atmosfery na vizual'noe opredelenie mestopolozhenija vzletno-posadochnoj polosy s borta vozdushnogo sudna / V.N. Bobrov, G.S. Nahmanson // *Meteorologija i gidrologija*. 2003. no. 1. pp. 58–63.
 3. Bobrov V.N. Issledovanie sezonnyh i sutochnyh izmenenij temperatury vozduha // *Privolzhsckij nauchnyj vestnik*. 2013. no. 1. pp. 4–6.

Рецензенты:

Душкин А.В., д.т.н., доцент, начальник кафедры управления и информационно-технического обеспечения, ФКОУ ВПО «Воронежский институт ФСИН России», г. Воронеж;

Ирхин В.П., д.т.н., доцент, профессор кафедры основ радиоэлектроники, ФКОУ ВПО «Воронежский институт ФСИН России», г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 19.12.2013.