

## МЕТОДИЧЕСКОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

- компьютерное моделирование / Н.М.Оскорбин, А.В. Боговиз, А.В. Жариков // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2010. – Т. 8, вып. 1. – С. 54–59.
2. Алгазин, Г.И. Математические модели системного компромисса / Г.И. Алгазин. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 1999. – 133 с.
  3. Бурков, В.Н. К развитию человеко-машинного взаимодействия в АСУ / В.Н. Бурков, В.П. Авдеев, Л.П. Мышляев и др. // Известия вузов. Черная металлургия. – 1980. – №4. – С. 139–143.
  4. Гермейер, Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами / Ю.Б. Гермейер. – М.: Наука, 1976. – 326 с.
  5. Мамченко, О.П. Иерархические системы управления в экономике / О.П. Мамченко, Н.М. Оскорбин. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2007. – 283 с.
  6. Вунш, Г. Теория систем / Г. Вунш. – М.: Сов. радио, 1978. – 288 с.
  7. Калман, Р. Очерки по математической теории систем / Р. Калман, П. Фалб, М. Арbib. – М.: Мир, 1971.
  8. Максимов, А.В. Многопользовательские информационные системы: основы теории и методы исследования : монография / А.В. Максимов, Н.М. Оскорбин. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2005. – 250 с.
  9. Юдин, Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования / Д.Б. Юдин. – М. «Сов. радио», 1979. – 392 с.
  10. Максимов, А.В. Нахождение оптимальных программ управления объектом в случайных средах при произвольном информационном векторе / А.В. Максимов // Синтез и проектирование многоуровневых иерархических систем: мат. Всерос. конф. – Барнаул: Изд-во АГУ, 1983. – С. 142–146.
  11. Максимов, А.В. Моделирование дискретных систем управления с коррекцией состояния: дис. ... канд. физ.-мат. наук / А.В. Максимов. – Новосибирск, 1993. – 120 с.
  12. Люблинский, Р.Н. Методы декомпозиции при оптимальном управлении непрерывными производствами / Р.Н. Люблинский, Н.М. Оскорбин. – Томск: Изд-во ТГУ, 1979. – 220 с.
  13. Александров, А.Г. Оптимальные и адаптивные системы / А.Г. Александров. – М.: Высш. шк., 1989. – 263 с.
  14. Рубан, А.И. Метод синтеза закона управления в АСИ / А.И. Рубан, С.А. Маркин // Тезисы докладов IX Всесоюзного совещания по проблемам управления. – Ереван – Москва, 1983. – С. 67–68.
  15. Деревецкий, Д.П., Фрадков А.Л. Прикладная теория дискретных адаптивных систем управления / Д.П. Деревецкий, А.Л. Фрадков. – М.: Наука, 1981. – 216 с.
  16. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах: Беспорисковые методы / А.Л. Фрадков. – М.: Наука, 1990. – 292 с.

*Д.т.н., профессор Оскорбин Н.М. osk46@mail.ru; к.ф.-м.н., доцент Максимов А.В. : avmaximov@gmail.com; (3852) 36-70-18 – Алтайский госуниверситет; Сорокин Ан.В. anton.sorokin@inbox.ru; ассистент кафедры экономики и управления Рубцовского индустриального института АлтГТУ, аспирант АлтГТУ*

УДК 535.36:535.346.1

## МЕТОДИЧЕСКОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

С.П. Пронин, Е.С. Кононова, Д.Г. Кальной

В статье осуществлен обоснованный выбор показателя качества атмосферы по взвешенным частицам, показана разработка метода и средства контроля взвешенных частиц, выполнены экспериментальные исследования и предложено техническое решение контроля атмосферы на улицах и уличных перекрестках городов.

**Ключевые слова:** контроль, аэрозольная плотность атмосферы, взвешенные частицы, оптический контраст, удельный показатель ослабления

Системам мониторинга атмосферного воздуха уделяется большое внимание, потому что они являются надежными помощниками в решении природоохранительных задач и экологического мониторинга. Например, в Москве в настоящее время работают 45

автоматических станций контроля загрязнения атмосферного воздуха [1]. Часть из них установлены на жилых территориях, а

часть вблизи автотрасс. Из-за возрастающего количества автотранспорта актуальной становится задача контроля взвешенных частиц непосредственно на улицах и уличных перекрестках городов. Передвижные экологические лаборатории являются важным элементом в системе обеспечения экологии горожан, но они не в состоянии обеспечить суточный мониторинг загрязнения атмосферы. Слещ-

#### РАЗДЕЛ IV. ИЗМЕРЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В ЭКОЛОГИИ, НАУКАХ О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ

ком много потребуется средств на их создание и содержание.

Термин "взвешенные частицы" относится к ряду тонкодисперсных твердых веществ или жидкостей, диспергированных в воздухе в результате процессов горения. Размеры частиц варьируют от 0,1 до 25 мкм в диаметре. Составляющие эти частицы вещества различны, но для урбанизированных территорий типичны углерод или высшие углеводороды, образующиеся при неполном сгорании топлива [2].

Взвешенные частицы изменяют оптические свойства исследуемого объема атмосферного воздуха, поэтому для контроля его качества применяют оптические методы и средства. Например, спутниковые исследования аэрозолей по изменению ее оптической плотности [3]. Лидарное зондирование атмосферы и контроль ее качества по изменению коэффициента ослабления лазерного излучения, который коррелирует с аэрозольной плотностью атмосферы [4].

Важно подчеркнуть, что какими бы методами и средствами не измеряли оптические параметры атмосферы необходимо связать их с предельно допустимой концентрацией (ПДК) взвешенных частиц.

Цель работы – выбрать и обосновать показатель качества атмосферы по взвешенным частицам, разработать метод и средство контроля взвешенных частиц, выполнить экспериментальные исследования и предложить техническое решение контроля атмосферы на улицах и уличных перекрестках городов.

Основными характеристиками аэрозолей, определяющими в основном их свойства, принято считать размер частиц и их концентрацию. Размеры частиц играют большую роль в изменении оптических свойств. Однако, говоря о контроле взвешенных частиц на перекрестках дорог, ограничим диапазон размеров частиц, размерами частиц сажи и углерода, как продуктов сгорания в двигателях автомобилей, и основное внимание сосредоточим на концентрации. Под концентрацией понимают отношение количества вещества к объему системы. Если в исследуемом атмосферном объеме  $V_{атм}$  содержится  $N$  частиц, каждая из которых имеет массу  $m_{част}$ , то массовая концентрация аэрозоля будет равна:

$$C = Nm_{част} / V_{атм} = m_{аэр} / V_{атм}, \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация аэрозоля;  $m_{аэр}$  – масса аэрозоля.

Формула (1) равносильна определению плотности, поэтому справедливо и другое ее определение – аэрозольная плотность атмосферы  $\rho_{атм}$  [4]:

$$\rho_{атм} = m_{аэр} / V_{атм}. \quad (2)$$

Единицы измерения аэрозольной плотности атмосферы – килограмм, грамм, миллиграмм в единице объема воздуха:  $м^3$ ,  $см^2$ . В промышленной гигиене, в нормах на предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ в аэрозольном состоянии в воздухе используется такая же весовая концентрация аэрозолей.

Световой поток  $\Phi_0$ , проходящий через поглощающую среду, уменьшается по закону Ламберта-Бугера-Бера [5]:

$$\Phi = \Phi_0 \exp(-a_n x) = \Phi_0 \exp(-2,303 a_d x) = \Phi_0 \exp(-2,303 D), \quad (3)$$

где  $\Phi_0$  – падающий световой поток на вещество;  $\Phi$  – прошедший световой поток через вещество толщиной  $x$ ;  $a_n$  – натуральный показатель поглощения;  $a_d$  – десятичный показатель поглощения;  $D$  – оптическая плотность вещества.

Очевидно, что изменение концентрации аэрозоля влечет за собой изменение оптической плотности, поэтому для оценки изменений используют понятие оптической плотности аэрозоля [3,6].

Итак, говоря о содержании аэрозолей в воздухе, используют три понятия: ПДК взвешенных частиц, оптическую плотность аэрозоля и аэрозольную плотность атмосферы. Интуитивно понятно, что все они взаимосвязаны между собой, но в общем случае не равнозначны. Согласно закону Бера показатель поглощения  $a_n$  равен произведению удельного показателя поглощения  $\chi$  на концентрацию вещества [5]:

$$a_n = \chi C. \quad (4)$$

Показатели степеней в уравнении (3) и значения величин в формулах (2), (4) можно записать в следующую цепочку равенств:

$$2,303D = a_n x = \chi C x = \chi m_{аэр} x / V_{атм} = \chi \rho_{атм} x. \quad (5)$$

Оптическая плотность атмосферы является безразмерной величиной. Аэрозольная плотность атмосферы по размерности совпадает с размерностью ПДК, поэтому понятие аэрозольной плотности атмосферы предпочтительнее оптической плотности атмосферы. Численное значение аэрозольной плотности атмосферы может быть меньше ПДК, равно

МЕТОДИЧЕСКОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

или выше ПДК, т.е. равенство  $\rho_{\text{атм}} = \text{ПДК}$  является критерием качества атмосферного воздуха при контроле оптическими средствами. Можно оперировать и величиной оптической плотности, но тогда потребуются выполнить вычислительную операцию:

$$D = \chi \rho_{\text{атм}} \times / 2,303.$$

Метрологический аспект в этом случае полностью выполняется, но насколько специалистам будет понятен, например, термин "ПДК по оптической плотности" – неизвестно.

Техническая реализация мониторинга атмосферного воздуха может быть осуществлена стандартными методами и средствами, которые используются при определении метеорологической оптической дальности видимости ФИ-2, ФИ-3 [7]. Принцип действия этих приборов основан на измерении степени ослабления интенсивности световых импульсов после прохождения через слой атмосферы, ограниченный длиной базисной линии прибора.

Поскольку атмосфера не только поглощает, но и рассеивает световой поток, то в формуле (3) вместо показателя поглощения используют показатель ослабления  $\sigma$  [5]:

$$\Phi = \Phi_0 \exp(-\sigma x). \quad (6)$$

Из формулы (6) несложно выразить показатель ослабления:

$$\sigma = \ln(\Phi_0/\Phi)/x. \quad (7)$$

По аналогии с формулой (4) введем удельный показатель ослабления  $\chi_{\sigma}$  взвешенных частиц в атмосфере:

$$\sigma = \chi_{\sigma} \rho_{\text{атм}}. \quad (8)$$

Тогда метод определения аэрозольной плотности атмосферы можно выразить формулой:

$$\rho_{\text{атм}} = \ln(\Phi_0/\Phi)/\chi_{\sigma} x. \quad (9)$$

Известно, что показатель ослабления  $\sigma$  можно также определить по контрасту в изображении тест-объекта [8]:

$$\sigma = \ln(K_0/K)/x, \quad (10)$$

где  $K_0$ ,  $K$  – начальный и текущий контрасты соответственно. Под начальным контрастом понимается контраст в изображении тест-объекта при условии "чистой" атмосферы, или эталонной среды. Для определения контраста используют тест-объект в виде нескольких пар светлых штрихов на светлом фоне, а сам контраст вычисляют по формуле:

$$K = (E_{\text{max}} - E_{\text{min}})/(E_{\text{max}} + E_{\text{min}}),$$

где  $E_{\text{max}}$  – освещенность в изображении светлых штрихов;  $E_{\text{min}}$  – освещенность в промежутке между штрихами.

Таким образом, второй метод определения аэрозольной плотности атмосферы можно выразить в виде формулы:

$$\rho_{\text{атм}} = \ln(K_0/K)/\chi_{\sigma} x. \quad (11)$$

Для экспериментальной проверки предложенной формулы (8) были использованы оба метода. Очевидно, что независимо от методов и средств, удельный показатель ослабления должен быть одинаковым.

Для проверки была разработана с создана экспериментальная установка, которая включала стеклянную камеру и генератор дыма. С помощью генератора можно задавать определенный объем дыма и перекачивать его в стеклянную камеру.

Изменения светового потока, прошедшего через стеклянную камеру, фиксировали с помощью прибора РДВ-3 (Регистратор дальности видимости). По шкале миллиамперметра определяли коэффициент пропускания атмосферы в камере, выраженный в процентах.

Изменения контраста в изображении тест-объекта фиксировали с помощью видеокамеры "Видеоскан 205-2001", подключенной к персональному компьютеру. Для интерпретации экспериментальных данных использовали метод регрессионного анализа с экспоненциальной моделью:

$$Y = V_0 \exp(-V_1 V_{\text{дым}}). \quad (12)$$

где  $V_{\text{дым}}$  – независимая переменная, характеризующая объем дыма, закачиваемого в стеклянную камеру;  $V_0$ ,  $V_1$  – постоянные коэффициенты.

Для прибора РДВ-3 переменная  $Y$  представляет изменение отношения  $Y = \Phi / \Phi_0$ , или коэффициент пропускания, в зависимости от объема дыма  $V_{\text{дым}}$ . Для программно-аппаратного комплекса на основе видеокамеры "Видеоскан 205-2001" переменная  $Y$  представляет изменение контраста  $Y = K$  в зависимости от изменения объема дыма  $V_{\text{дым}}$ . Коэффициент  $V_0$  равен коэффициенту пропускания для прибора РДВ-3 и начальному контрасту в случае программно-аппаратного комплекса при условии, что  $V_{\text{дым}} = 0$ , т.е. условия "чистой" атмосферы в камере.

На рисунке 1 представлен результат эксперимента, выполненного на приборе РДВ-3. На рисунке 2 представлен результат эксперимента, выполненного на программно-

## РАЗДЕЛ IV. ИЗМЕРЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В ЭКОЛОГИИ, НАУКАХ О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ

аппаратном комплексе. Тонкие линии графиков с ромбами соответствуют эксперименту. Жирные линии графиков – регрессии.

Как видно из графиков, в обоих случаях наблюдается высокий коэффициент детерминации. Следовательно, экспоненциальная регрессионная модель хорошо отражает экспериментальные результаты и находится в хорошем согласии с законом Бугера-Ламберта-Бера. Во-вторых, для обоих приборов получены коэффициенты  $B_1$ , отличающиеся на 4%.

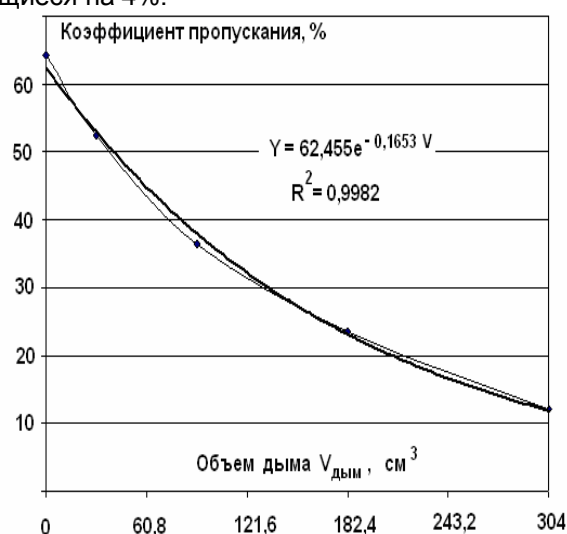


Рисунок 1 – Изменение коэффициента пропускания в зависимости от объема дыма

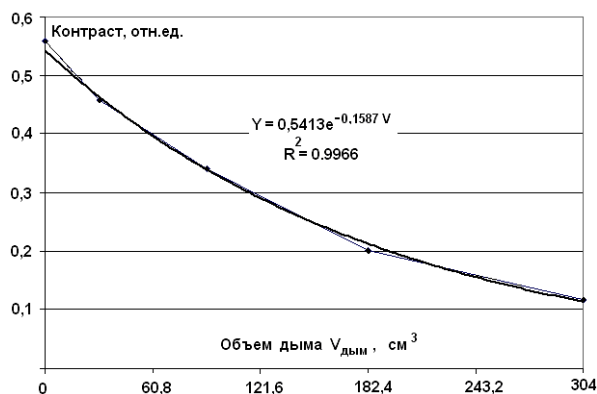


Рисунок 2 – Изменение контраста в изображении тест-объекта в зависимости от объема дыма

Для расчета удельного показателя выделим из формул (6) и (12) степени в экспонентах и приравняем их:  $\sigma x = B_1 V_{\text{дым}}$ . Раскрывая  $\sigma$ , получим:

$$\chi_{\sigma} \rho_{\text{атм}} x = B_1 V_{\text{дым}}$$

Величина  $\rho_{\text{атм}}$  представляет плотность взвешенных частиц в стеклянной камере. Объем дыма  $V_{\text{дым}}$  производится с помощью

генератора с известной плотностью частиц  $\rho_{\text{дым}}$ . Поскольку у генератора дыма и стеклянной камеры разные объемы, то

$$\rho_{\text{атм}} = \rho_{\text{дым}} V_{\text{дым}} / V_{\text{камера}} \quad (13)$$

После несложных преобразований получим формулу расчета удельного показателя ослабления:

$$\chi_{\sigma} = B_1 V_{\text{камера}} / x \rho_{\text{дым}}, \quad (14)$$

где объем камеры  $V_{\text{камера}} = 49,59 \cdot 10^3 \text{ см}^3$ ; длина камеры  $x = 98 \text{ см}$ .

В качестве взвешенных частиц использовали сигаретный дым. За величину плотности дыма приняли плотность сажевых частиц  $\rho_{\text{дым}} = 2 \text{ г/см}^3$ . Расчеты дают следующие значения:  $\chi_{\sigma} = 41,82 \text{ см}^2/\text{г}$  удельный показатель ослабления, вычисленный по измерениям прибора РДВ-3 и  $\chi_{\sigma} = 40,15 \text{ см}^2/\text{г}$ , вычисленный по измерениям программно-аппаратного комплекса.

Таким образом, в качестве технического обеспечения локальной системы экологического мониторинга атмосферы на улицах и уличных перекрестках городов могут применяться видеокамеры наружного наблюдения. Объединенные посредством интернет-сети, они способны в реальном режиме времени осуществлять экологический мониторинг практически всех городских уличных перекрестков.

### Выводы

Метод контроля качества атмосферного воздуха можно осуществить по зависимости (11), с дальнейшим сравнением аэрозольной плотности атмосферы  $\rho_{\text{атм}}$  с гостированным значением ПДК.

Для измерения аэрозольной плотности атмосферы необходимо знать удельный показатель ослабления взвешенных частиц.

Для измерения удельного показателя ослабления разработаны метод и средство. В качестве средства измерения предлагается использовать программно-аппаратный комплекс, в состав которого входит видеокамера с многоэлементным фотоприемником, тест-объект в виде нескольких парных штрихов и стеклянная камера для закачивания в нее взвешенных частиц. Метод измерения основан на расчетной формуле (14).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный экологический мониторинг в Москве: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mosecom.ru/about/mosecom/> (дата обращения :03.05.2010).

МЕТОДИЧЕСКОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

2. Общественный экологический Internet-проект EcoLife:[ Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecolife.org.ua/data/tdata/td2-10.php> (дата обращения :03.05.2010).
3. Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Аэрозоли: [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/ru/tssts-2-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/tssts-2-2.html) (дата обращения :03.05.2010).
4. Найдич В. А. Лидар. Программа обработки результатов лидарного зондирования атмосферного воздуха. Экология города: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://citysoft.mosmap.ru/Lidar/Lidar.htm> (дата обращения :03.05.2010).
5. Гуревич М.М. Фотометрия: теория, методы и приборы. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.
6. Асадов Х.Г., Аббасзаде Э.С. Дифференциальный метод определения основных оптических параметров атмосферного аэрозоля [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.docstoc.com/docs/30509403/The-differential-method-for-determination-of-major-optical-parameters-of-atmospheric-aerosol/>.
7. Разработки ЛОМО: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lomo.ru/site/catalog>
8. Пронин С.П., Кононова Е.С. Способ измерения показателя ослабления/ Патент № 2381488. Опубликовано: 10.02.2010 Бюл. №4.