

УДК 628.511.1

О. К. Барсуков, В. П. Батманов

МЕТОД КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ И ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА АЭРОЗОЛЯ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Рассматривается метод дистанционного определения дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны на предприятиях стройиндустрии в режиме реального времени с возможностью автоматического регулирования технологического процесса для обеспечения безопасных условий труда. Обосновано применение лазерного зондирования как высокоточного метода измерений и контроля качества воздуха рабочей зоны.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пыль, ТЧ10, ТЧ2,5, пылемер, лазерно-оптический прибор.

The paper considers the method of remote determining the disperse composition of dust in working area air at construction industry companies, in actual time mode with the possibility of automatic control of technological process to ensure safe working conditions. The application of laser sounding as of a high-precision method for measurement and for control of the working area air quality is justified.

К е у w o r d s: dust, Solid Particle 10, Solid Particle 2,5, dust meter, laser-optical device.

В связи с интенсивным развитием минерально-сырьевого комплекса, ростом объемов переработки, особенно в строительной отрасли, все большее значение приобретает задача контроля аэрозольных и газовых выбросов, представляющих собой источник повышенной опасности для здоровья рабочих. Возникла проблема разработки методов исследования аэрозольного состава воздуха рабочей зоны [1], обеспечивающих получение данных с высокой оперативностью и в значительных пространственных масштабах, а также разработки комплексных систем автоматизированного контроля и регулирования качества воздуха.

Одним из основных загрязнителей воздуха рабочей зоны является пыль, которая составляет значительную часть промышленных выбросов и образуется в результате деятельности различных предприятий. Большое значение имеет контроль дисперсного состава пыли, так как степень наносимого вреда здоровью напрямую зависит от размеров частиц, которые попадают в организм человека. Наиболее опасными для здоровья человека являются частицы размером менее 10 мкм. Причем на законодательном уровне введено нормирование содержания частиц размером менее 10 мкм (ТЧ10) и менее 2,5 мкм (ТЧ2,5) в воздухе рабочей зоны. Для решения этих задач перспективным является применение дистанционного метода зондирования с использованием лазера в качестве источника излучения.

Метод исследования и результаты. Для контроля запыленности и измерения концентрации взвешенных частиц (пыли) в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны, производственных помещений и контроля содержания пыли в отходящих газах используются специальные приборы, называемые пылемерами. В качестве пылемера может выступать лазерно-оптический прибор (рис. 1), который состоит из лазерного излучателя с оптической системой и приемного устройства, в состав которого входит фотоэлектрический усилитель цифровая видеоматрица ФЭУ. Принцип работы прибора основан

на свойстве частиц отражать световой поток [2, 3]. Часть зондирующего лазерного излучения отражается на аэрозольных частицах в сторону фотоприемника. Это излучение с помощью приемной оптики собирается и направляется на ФЭУ, который преобразует его в электрический сигнал, пропорциональный интенсивности принятого излучения. Электрический сигнал, снимаемый с фотодетектора, содержит информацию о присутствии в атмосфере аэрозолей и их концентрации. Однако чтобы извлечь эту информацию, необходимы специальные методы измерения и алгоритмы обработки.



Рис. 1. Структурная схема лазерно-оптического прибора

Применительно к системе лазерного зондирования воздуха рабочей зоны для определения дисперсного состава главными оптическими характеристиками аэрозоля являются [4—6]: показатель ослабления ϵ , показатель рассеяния σ , показатель поглощения κ и индикатриса рассеяния $\chi(\gamma)$.

Для задач лазерного зондирования весьма важной характеристикой является также лидарное отношение $b_\Lambda = \frac{\Lambda}{4\pi} \chi_\pi$, (где $\Lambda = \frac{\sigma}{\epsilon}$ — вероятность выживания фотона, χ_π — значение $\chi(\gamma)$ для угла 180°) и показатель рассеяния в

обратном направлении $\sigma_{\pi} = \frac{\sigma \chi_{\pi}}{4\pi} = b_{\Lambda} \varepsilon$.

Задача определения оптических характеристик реального аэрозоля в общем случае невыполнима, если не внести упрощающие предположения. Заменяв совокупность аэрозольных частиц ансамблем однородных сферических частиц с одинаковыми химическими свойствами [6], распределение которых по размерам описывается функцией $f(a)$, а концентрация равна N_a , м^{-3} , показатели ε , σ , κ можно записать в следующем виде:

$$\varepsilon = N_a \int_0^{\infty} (\pi a^2) Q(\rho, m) f(a) da;$$

$$\sigma = N_a \int_0^{\infty} (\pi a^2) Q_p(\rho, m) f(a) da;$$

$$\kappa = N_a \int_0^{\infty} (\pi a^2) Q_{\pi}(\rho, m) f(a) da,$$

где Q , Q_p , Q_{π} — факторы эффективности ослабления, рассеяния и поглощения отдельной частицы.

Функция $f(a)$ нормирована условием $\int_0^{\infty} f(a) da = 1$ и представляет собой

плотность вероятности обнаружения частицы размером между a и $a+da$ в единице объема $f(a) = \frac{1dN_a}{N_a da}$, м^{-1} .

Полное геометрическое сечение частиц S_a и суммарный объем частиц V_a в единице объема воздуха можно записать так:

$$S_a = N_a \int_0^{\infty} (\pi a^2) f(a) da;$$

$$V_a = \frac{4}{3} N_a \int_0^{\infty} (\pi a^2) f(a) da.$$

Аналитически функция распределения $f(a)$ обычно является аппроксимацией сглаженной гистограммы, где по оси абсцисс откладывается значение размера частиц, а по оси ординат — относительная доля частиц в интервале $(a, a+\Delta a)$ от общего числа измеренных частиц. Наиболее распространено логарифмически нормальное распределение.

Функции Q , Q_p , Q_{π} — безразмерные и численно равны отношению энергии, соответственно ослабленной, рассеянной и поглощенной частицей, к энергии, падающей на ее геометрическое сечение (πa^2) .

Общие формулы для Q , Q_p , Q_{π} дает теория Ми. В качестве безразмерных характеристик частицы в теории Ми [7] используется параметр дифракции

$\rho = \frac{2a\pi}{\lambda}$, где a — радиус частицы, а λ — длина волны излучения.

Самым важным фактором в теории Ми является не размер частиц и не длина волны лазерного излучения, а их отношение. Это означает, что частицы радиусом до 1 мкм могут выступать как «большие», если они облучаются светом с длиной волны 0,55 мкм, но становятся «малыми» для ИК-излучения с длиной волны 10 мкм. Таким образом, даже очень маленькие частицы могут быть обнаружены при правильном выборе длины волны источника излучения.

Для достижения результата проведена работа по подбору лазерных излучателей и оснащению экспериментального стенда для определения оптических свойств пылей. На основании обработки полученных экспериментальных данных выведены коэффициенты для программной корректировки значений, полученных лазерно-оптическим пылемером, в зависимости от вида и химического состава аэрозоля. Получены значения коэффициентов для ряда минеральных веществ, наиболее часто присутствующих в воздухе рабочей зоны на предприятиях минерально-сырьевого комплекса и предприятиях строительной индустрии. В их числе цемент, гипс, мел, песок, известь, кварц, корунд, глина и др.

Применение дистанционного метода имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами определения дисперсного состава пыли. Система не требует постоянного присутствия человека и не зависит от человеческого фактора. В данной технологии не используются расходные материалы. Измерения и контроль, в отличие от других методов, ведутся непрерывно в режиме реального времени. Прибор не требует обслуживания во время работы, кроме как при вводе в эксплуатацию, не содержит частей и механизмов, подверженных износу, забиванию или нуждающихся в постоянной регулировке.

В качестве модуля регистрации и обработки информации, получаемой с фотодетектора, используется персональный компьютер, что позволяет уменьшить стоимость готового прибора. Данный прибор позволяет сократить время измерений концентрации и дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны и является основной следящей в режиме реального времени системы. При включении данного прибора в состав автоматической системы управления технологическим процессом на производстве и задании алгоритмов реакции системы на превышение контролируемых параметров можно снизить негативное влияние на рабочего. Причем при благоприятной обстановке на производстве может быть достигнут значительный экономический эффект от снижения энергозатрат на работу вентиляционного, очистного, транспортно-го и другого оборудования, которое под управлением автоматизированной системы будет включаться на полную мощность только в случае превышения контролируемых параметров воздуха рабочей зоны.

Выводы. Данная технология позволяет получить прибор для дистанционного мониторинга качества воздуха рабочей зоны с разрешающей способностью в доли микрометров, обеспечивающего получение данных с высокой оперативностью, тем самым решив задачу контроля аэрозольных выбросов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Азаров В. Н.* О концентрации и дисперсном составе пыли в воздухе рабочих и обслуживаемых зон предприятий стройиндустрии // Международная конф. «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». Волгоград, 2003.
2. *Аш Ж.* Датчики измерительных систем. Кн. 2 / пер. с французского под ред. А. С. Обухова. М.: Мир, 1992. 419 с.

3. Назаров И. М., Николаев А. Н., Фридман Ш. Д. Основы дистанционных методов мониторинга загрязнений природной среды. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 283 с.
 4. Зуев В. Е., Кабанов М. В. Оптика атмосферного аэрозоля. Л. : Гидрометеиздат, 1987. 255 с.
 5. Зуев В. Е., Наац И. Э. Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы. Новосибирск : Наука, 1982. 242 с.
 6. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей / В. Е. Зуев, Б. В. Кауль, И. В. Самохвалов, К. И. Кирков, В. И. Цанев. Новосибирск : Наука, 1986. 188 с.
 7. Ослабление интенсивности многочастотного лазерного излучения на протяженных атмосферных трассах / А. А. Землянов, Ю. В. Кистенев, В. В. Колосов, Ю. Н. Пономарев, К. М. Фирсов. Томск, 1999. 22 с.
-
1. Azarov V. N. O kontsentratsii i dispersnom sostave pyli v vozdukhе rabochikh i obsluzhivayemykh zon predpriyati stroyindustrii // Mezhdunarodnaya konf. "Kachestvo vnutrennego vozdukhа i okruzhayushchey sredey". Volgograd, 2003.
 2. Ash Zh. Datchiki izmeritelnykh system. Kn. 2. Perevod s frantsuzskogo pod red. A. S. Obukhova. M. : Mir, 1992. 419 s.
 3. Nazarov I. M., Nikolaev A. N., Fridman Sh. D. Osnovy distantsionnykh metodov monitoringа zagryazneni prirodnoy sredey. L. : Gidrometeoizdat, 1983. 283 s.
 4. Zuev V. Ye., Kabanov M. V. Optika atmosfernogo aerolya. L. : Gidrometyoizdat, 1987. 255 s.
 5. Zuev V. Ye., Naats I. E. Obratnye zadachi lazernogo zondirovaniya atmosfery. Novosibirsk : Nauka, 1982. 242 s.
 6. Lazernoe zondirovanie industrialnykh aerolyey / V. Ye. Zuev, B. V. Kaul, I. V. Samokhvalov, K. I. Kirkov, V. I. Tsanev. Novosibirsk : Nauka, 1986. 188 s.
 7. Oslablenie intensivnosti mnogochastotnogo lazernogo izlucheniya na protyazhennykh atmosferynykh trassakh / A. A. Zemlyanov, Yu. V. Kistenev, V. V. Kolosov, Yu. N. Ponomarev, K. M. Firsov. Tomsk, 1999. 22 s.

© Барсуков О. К., Батманов В. П., 2012

Поступила в редакцию
в марте 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Барсуков О. К., Батманов В. П. Метод контроля концентрации и дисперсного состава аэрозоля в воздухе рабочей зоны с помощью лазерного зондирования // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 1(20).