

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

Е.С. Кононова, С.П. Пронин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

На основе каталогов, сайтов и нормативных документов выполнен аналитический обзор новых технических средств измерения и контроля взвешенных частиц в атмосферном воздухе. Из обзора следует, что современные измерители взвешенных частиц выполнены на классическом гравиметрическом и оптическом методах измерений. В конце статьи приведен нестандартный перспективный оптический метод измерения массовой концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе по измерению контраста в изображении тест-объекта.

Ключевые слова: методы измерения, средства измерения, взвешенные частицы, массовая концентрация

На загрязнение атмосферного воздуха автотранспортом влияют взвешенные частицы, возникающие за счет выхлопных газов, разрушения дорожного покрытия от автошин, стирания тормозных колодок [1,2]. Из-за возрастающего количества автотранспорта актуальной становится задача контроля взвешенных частиц непосредственно на улицах и уличных перекрестках городов. Взвешенные частицы являются одним из наиболее значимых факторов влияния загрязнения воздуха на здоровье населения по степени своего вредного воздействия. Выделяют несколько классов взвешенных частиц по их размерам: общая пыль - TSP (все частицы), фракции PM10 (частицы с размером 10 мкм и менее), PM2,5 (2,5 мкм и менее), PM1 (1 мкм и менее) [3].

В России традиционно измеряется общая пыль TSP. Нормативы по фракциям PM10 и PM2,5 были введены несколько лет назад, но повсеместно еще не внедрены [3].

Классифицируют два основных метода контроля количества взвешенных частиц. Это методы, основанные на предварительном осаждении частиц пыли и сажи и методы без предварительного осаждения [4, 5].

На сегодняшний день основным методом контроля загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами является метод осаждения частиц на специальном фильтре [6]. Этот метод называют гравиметрическим. Данный метод признан стандартным во многих странах. Гравиметрический метод заключается в выделении из пылега-

зового потока частиц пыли и определении их массы. Основным преимуществом данного метода является измерение массовой концентрации пыли и отсутствие влияния ее химического и дисперсного состава на результаты измерений. Недостатками метода является большая трудоемкость процесса измерения [7, 8] и невозможность непрерывного мониторинга. Согласно нормативным документам измерения производят через равные промежутки времени не менее четырех раз при обязательном отборе 1-00,7-00,13-00,19-00 часов по местному декретному времени [5, 8].

На сегодняшний день стоит задача разработки технических средств мониторинга атмосферного воздуха, отработки технологии контроля взвешенных частиц и передачи данных в режиме on-line.

Цель статьи – классифицировать методы и выполнить обзор новых технических средств измерения и контроля взвешенных частиц, способных работать в режиме on-line.

На рынке предложено большое количество измерителей взвешенных частиц [9-16]. Из всего многообразия представленных измерителей можно выделить семь классов, реализованных на следующих методах:

- гравиметрический (классический) с автоматической сменой фильтров;
- оптический, основанный на измерении поглощения рассеянного светового потока;
- оптический, основанный на измерении рассеянного светового потока;

- комбинированный (гравиметрический и оптический);
- радиоизотопный;
- электрометрический;
- акустический.

К первому классу относятся приборы представленные в источниках [3,9,12,13]. Примером данного класса служит автоматическая система пробоотбора взвешенных частиц модели ExplorerPlus (Zambelli, Италия) [9].

Данная система применяется в экологическом мониторинге атмосферного воздуха и для контроля в автономном режиме там, где есть высокое содержание взвешенных частиц.

Особенности данной системы заключаются в автоматической смене фильтров, что позволяет работать в автономном режиме в течении 16 дней. Прибор оснащен жидкокристаллическим дисплеем, блоком управления, встроенным термопринтером.

Предусмотрено наличие памяти, используемой для архивации результатов отбора. Накопленную информацию можно передать на PC через USB-порт. Имеется возможность программирования расхода и продолжительности отбора. Режим пробоотбора задается пользователем.

Явным недостатком является большой вес измерителя (60 кг). Скрытый недостаток содержится в методе измерения. Согласно [20] концентрацию взвешенных частиц (C) в воздухе мг/м³ рассчитывают по формуле:

$$C = \frac{(M_2 - M_1)}{V_H}, \quad (1)$$

где M_2 – масса фильтра после отбора, мг; M_1 – масса фильтра до отбора проб, мг; V_H – объем пропущенного воздуха, приведенный к нормальным условиям, м³.

Используя формулы теории ошибок, несложно рассчитать, что относительная погрешность определения массовой концентрации взвешенных частиц:

$$\delta C = \left(\frac{\Delta C}{C} \right) 100\% = \left(\frac{2\Delta M}{(M_2 - M_1)} + \frac{\Delta V}{V} \right) 100\%, \quad (2)$$

где ΔM - погрешность весов; ΔV – погрешность объема прокаченного воздуха.

Как видно из формулы (2), скрытыми недостатками является, во-первых, невозможность работы в режиме on-line. Для того, чтобы выполнить измерения, необходимо накопить взвешенные частицы на фильтре, а для этого требуется время. Во-вторых, ΔV зависит от конструкции измерителя. Для рассмат-

риваемого измерителя погрешность составляет $\pm 2\%$. Для измерителей, имеющих небольшой вес и небольшие габариты погрешность измерения массовой концентрации взвешенных частиц достигает 20%.

Ко второму классу относятся приборы представленные в [3,9,12], в том числе оптические пылемеры. Примером данного класса является нефелометрический анализатор модели 181 (PCME Великобритания)[9]. Анализатор предназначен для измерения массовой концентрации взвешенных частиц в диапазоне 0,05-200 мг/м³, с погрешностью 0,1 мг/м³.

Принцип действия основан на измерении интенсивности лазерного источника света по направлению вперед. Количество рассеянного света прямо пропорционально концентрации пыли.

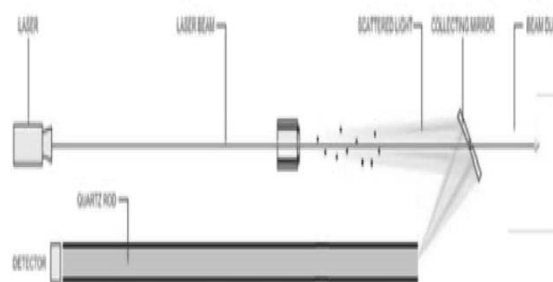


Рисунок 1 – Структурная схема нефелометрического анализатора модели 181 PCME

Достоинством измерения является большой диапазон измерения массовой концентрации пыли. Недостаток - неспособность измерять взвешенные частицы отдельно по размерам.

К третьему классу относятся приборы, представленные в [9,12,13]. Примером данного класса является анализатор пыли DastTrak 8530/8533 (TSI, США) [13]. Анализатор предназначен для измерения массовой концентрации взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны в диапазоне 0,1-150 мг/м³ с погрешностью 20%.

Принцип действия основан на регистрации рассеянного света.

Достоинством является измерение всех фракций PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, а также содержание общей пыли одновременно. Способен обеспечивать обмен данными с внешними устройствами через цифровые интерфейсы USB и Ethernet.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

Недостатком является высокая погрешность измерений – 20%.

К четвертому классу относятся приборы представленные в [9,12]. Примером данного класса является комбинированный полуавтоматический пылемер ОМПН-10,0 (ОПТЭК, Россия) [9].

Принцип действия пылемера ОМПН-10.0 основан на комплексном использовании оптического и гравиметрического методов и заключается в регистрации рассеянного излучения оптическим датчиком и параллельном принудительном прокачивании анализируемой пробы воздуха через аналитический аэрозольный фильтр АФА-ВП-10, с помощью электроасpirатора. Оптический блок обеспечивает измерение концентрации взвешенных частиц в непрерывном режиме в стандарте РМ-10 (при использовании соответствующего импактора, входящего в комплект поставки). При превышении значений массовой концентрации аэрозольных частиц порога срабатывания сигнализации, установленного на оптическом блоке, автоматически включается электроасpirатор [9,16].

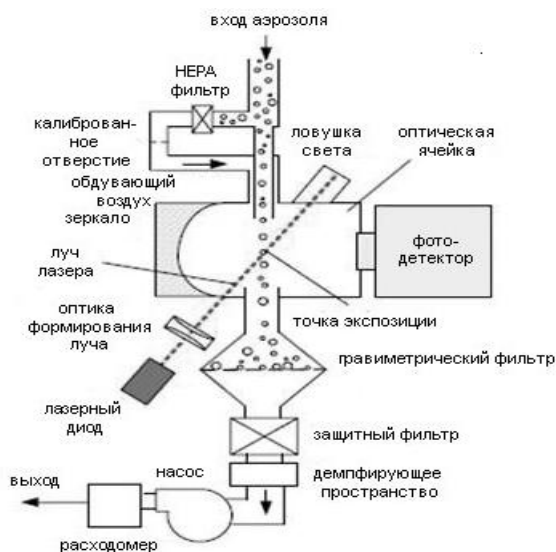


Рисунок 2 – Структурная схема анализатора пыли DustTrak 8530/8533 (TSI, США)

Пылемеры для контроля воздуха рабочей зоны представлены в [17,18,19].

Радиоизотопный метод измерения основан на степени ослабления радиоактивного излучения через слой пыли [21]. Как отмечено в научно-технической литературе [21], радиоизотопный метод проще в реализации и не уступает гравиметрическому методу в точности и чувствительности. Однако, недостатком данного метода является радиоактивное

излучение, что негативно влияет на организм человека.

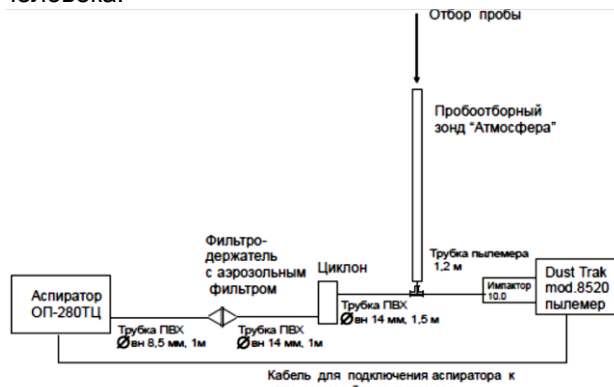


Рисунок 3 – Структурная схема пылемера ОМПН-10,0 [16]

Пьезоэлектрический (акустический) метод измерения массовой концентрации взвешенных частиц основан на измерении частоты колебаний пьезокристалла при осаждении пыли на его поверхности [21]. Электрометрические методы большого распространения не получили. К ним относят индукционный, емкостной, контактно – электрический [21]. Измерители, разработанные на основе этих методов, способны измерять концентрацию аэрозолей непосредственно в атмосферном воздухе, однако на погрешность измерений существенно влияют влажность, природа пыли, изменение дисперсного состава. Поэтому большого распространения данные измерители не получили [21].

Среди нестандартных средств измерения можно выделить оптический метод контроля взвешенных частиц в атмосферном воздухе по оптическому контрасту в изображении тест – объекта [22-24].

Перспективность метода, предложенная авторами, заключается в том, что измерения могут осуществляться при помощи камер видеонаблюдения. На сегодняшний день видекамера является неотъемлемым атрибутом на улицах и уличных перекрестках. Одновременно они способны выполнять не только функцию в обеспечении общественного порядка, но и следить в режиме реального времени за экологией.

Выводы.

На основе каталогов, сайтов и нормативных документов выявлена тенденция развития современных измерителей взвешенных частиц в атмосферном воздухе. В основном измерители реализуют на двух методах - классическом гравиметрическом и оптическом

ском. Согласно нормативным документам разрабатываемые приборы должны обеспечивать измерение и контроль общей пыли – TSP (все частицы), а также фракций PM10 (частицы с размером 10 мкм и менее), PM2,5 (2,5 мкм и менее).

В статье приведен нестандартный перспективный оптический метод измерения массовой концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе по измерению контраста в изображении тест-объекта. Предлагаемый метод может быть реализован на видеокамерах, устанавливаемых на улицах и уличных перекрестках городов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К вопросу контроля и нормирования выбросов мелкодисперсной пыли в атмосферный воздух при движении автомобильного транспорта/ М.В. Графкина, А.В. Азаров, Д.Р. Добринский, Д.А. Николенко. - Вестник МГСУ, том12, Выпуск 4(1)103.
2. Чижова В.С. Повышение экологической безопасности автотранспортного комплекса путем снижения загрязнения воздуха дисперсными частицами размером менее десяти микрометров.// Автореф. дис. канд. техн. наук по специальности 05.22.10. – Москва, 2016. – 19 с.
3. Сенс-оптик. Анализатор пыли [текст]: электронный ресурс. Режим доступа: http://ecmoptec.ru/cat/cat_type_id/2/cat_model_id/173
4. Непрерывный контроль концентрации пыли // А.П. Клименко, В.И. Корол-ев, В.И. Шевцов.- К.: Техника, 1980. – 181 с., ил. – Библиограф.: 176-179 с.
5. Перегуд Е.А., Горелик Д.О. Методы и аппаратура для классификации частиц. Messtechnik zur Charakterisierung von Partikeln. Bericht von der PM-Tour 2009 der Sympates GmbH in Portmund. Lyko H. F and S: FiHr und Seper. 2009 23 №6.
6. РД 52.04.186-89. Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Москва, 1991.
7. Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль: Пер. с англ. / Под ред. А. Ф. Туболкина. - Л.: Химия, 1989. - 288 с.
8. ГОСТ 17.2.4.05-83 Охрана природы. Атмосфера. Гравиметрический метод определения взвешенных частиц пыли.
9. Каталог пибров для контроля взвешенных частиц [текст]: Электронный ресурс. Режим доступа: <http://xn--80aaajzhcnfck0a.xn--p1ai/PublicDocuments/1301470.pdf>.
10. Лабораторное оборудование. Пробоотборные системы. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.medwest.ru/catalog/3/9/> (дата обращения: 10.12.12).
11. Перечень приборов, аппаратуры и устройств, рекомендуемых для контроля факторов промышленной среды [Электронный ресурс] URL: http://www.niiot.ru/doc/doc020/doc_06081.htm.
12. ПКГ "Гранат". Контроль воздуха рабочей зоны. Аспирационные устройства для отбора проб воздуха [Электронный ресурс]. URL: http://granate.ru/catalog_auopv.html.
13. Приборы для контроля воздуха рабочей зоны [Электронный ресурс]. URL: <http://dustmonitors.ru/pribory2>.
14. Пылемеры [Электронный ресурс]. URL: <http://www.medwest.ru/catalog/36/15>.
15. Экологические приборы и оборудование. "Эко-интех": Пылемеры. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eco-intech.com/catalog/5/>.
16. КОМБИНИРОВАННЫЙ п/АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПЫЛЕМЕР мод. ОМПН-10,0 Руководство по эксплуатации ИРМБ.418311.020.РЭ.
17. ООО «ГК «КИПКомплект» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kipkomplekt.ru/jurnal/pylemer.php>.
18. ООО "Синтрол" [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sintrol.ru/produkty/gas-analyzers/pylemery>
19. ООО «Вела», сертифицированные приборы промышленной безопасности и экологического контроля [Электронный ресурс]. URL: <http://www.velaspb.ru/01.html>.
20. Руководящий документ РД 52.04. Руководство по контролю загрязнения атмосферы.
21. Методы контроля и приборы для измерения концентраций пыле- и газообразных примесей в атмосфере <http://ecologylib.ru/books/item/f00/s00/z0000000/st023.shtml>.
22. Способ измерения показателя ослабления. Патент на изобретение № 2381488. Опубликовано: 10.02.2010 Бюл. № 4. Пронин С.П., Кононова Е.С.
23. Исследование изменения контраста в изображении парных штрихов в зависимости от диаметра и концентрации аэрозольных частиц Кононова Е.С., Полтаренко А.В., Иванов А.С., Зрюмов Е.А. Измерение, контроль, информатизация: Материалы 12-ой Международ. НТК «ИКИ-2011». – Барнаул: АлтГТУ, 2011. – С.188–190.
24. Пронин С.П., Кононова Е.С., Кононов С.В., Артамонов В.С., Люцигер А.О., Шутова К.О. Исследование корреляционной зависимости между массой взвешенных частиц пыли в атмосферном воздухе, измеренной гравиметрическим методом и по методу оптического контраста / Ползуновский Альманах, 2011. – С.179–187.

Пронин Сергей Петрович – д.т.н., профессор, тел.: 8-913-085-96-65, e-mail: sppronin@mail.ru Кононова Екатерина Сергеевна – магистрант АлтГТУ.