

УДК 544.6

## **ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ**

**Д.И. Беленький, Д.М. Балаханов, Т.М. Магомедов**

*ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская область  
belenky@vniiftri.ru*

*Представлен обзор методов измерений массовой концентрации аэрозольных частиц.  
A review of measurement methods of mass concentration of aerosol particles is provided.*

*Ключевые слова: аэрозольные частицы, методы измерений, массовая концентрация.  
Key words: aerosol particles, measurement methods, mass concentration.*

В настоящее время всё сильнее растет необходимость контроля состояния окружающей среды, как в повседневной жизни: автомобильные выхлопы, промышленные выбросы, свалки и т.п., так и в производственной сфере: охрана труда, чистые помещения, высокотехнологичные производства. Поэтому измерение параметров аэрозолей становится все более актуальной проблемой в современном мире.

Основными источниками аэрозольных частиц, загрязняющих атмосферу, являются продукты горения на ТЭЦ, металлургических предприятиях, цементных и мусоросжигательных заводах. Образующиеся в результате сгорания частицы содержат различные опасные вещества, такие как мышьяк и тяжелые металлы. Также серьезной проблемой на производстве является пыль, возникающая при обработке, плавлении, переработке, добыче различных материалов, которая имеет целый ряд вредных факторов, влияющих на человека и окружающую среду.

Аэрозоли – это дисперсные системы с газообразной дисперсионной средой и твердой или жидкой дисперсной фазой. С начала 90-х гг. прошлого столетия исследование параметров аэрозолей начало занимать одно из ведущих мест в деятельности научных лабораторий. Остро встал вопрос о системе метрологического обеспечения измерений дисперсных параметров аэрозолей.

На данный момент одним из основных параметров, характеризующих дисперсные системы, является массовая концентрация частиц. Существует ряд методов, позволяющих измерять данный параметр, в то же время отсутствует единство измерений в данной области, так как невозможно создать эталон, основанный на одном методе.

Методы измерения массовой концентрации частиц:  
гравиметрический;  
оптические;  
пьезобалансный;  
метод ТЕОМ (метод осциллирующих микровесов с коническим элементом);  
радиоизотопный;  
трибоэлектрический;  
метод измерения дифференциального давления;  
метод дифференциальной электрической подвижности.

### **Гравиметрический метод**

Гравиметрический метод определения массы частиц пыли, отобранных на фильтр пылеотборника, является прямым методом измерений, при котором взвешиванием определяется масса частиц, а по результатам измерений расхода воздуха и продолжительности отбора пробы определяется ее объем.



Плюсом данного метода является возможность прямого определения массовой концентрации.

К минусам же можно отнести трудоемкость процесса измерения и высокую погрешность, связанную с процессом электростатического осаждения частиц пыли на фильтр.

### **Оптические методы**

В оптических методах используются зависимости физических свойств (оптической плотности, степени поглощения или рассеивания лучей) пылевого осадка или запыленного потока газа от концентрации пыли. К основным оптическим методам можно отнести:

*Фотометрический метод* основан на ослаблении интенсивности светового потока, вызванном его поглощением аэрозольными компонентами.

*Нефелометрический метод* основан на регистрации рассеянного отраженного светового потока, вызываемого аэрозольными частицами, находящимися в зоне действия основного светового потока.

Существуют *комбинации методов*, например, TSI DustTrak 8533, реализует в себе комбинацию фотометрического метода со счетчиком отдельных частиц, что позволяет получать информацию о массовой концентрации пыли по фракциям (PM10, PM2,5, PM1 и т.д.).



К основным плюсам оптических методов относится возможность непрерывного контроля и широкий диапазон измерений.

Минусом же является необходимость знания физико-химических свойств измеряемых частиц.

### **Пьезобалансный метод**

Данный метод основан на заряде аэрозольных частиц в поле коронного разряда, создаваемом электродом, и последующем их осаждении на поверхности кварцевого пьезоэлемента. При осаждении частиц на поверхность кварцевого пьезоэлемента происходит изменение частоты его колебаний, которое пропорционально массе осажденной пыли.



Неоспоримый плюс данного метода заключается в отсутствии зависимости показаний от физико-химических свойств измеряемой пыли.

Главным же минусом является довольно узкий диапазон измерений.

### Метод ТЕОМ

Данный метод реализован в одноименных приборах ТЕОМ. В качестве микровесов используется полая стеклянная трубочка, на конце которой расположен фильтр. Оседающие на фильтр частицы вызывают изменение частоты колебаний, которое зависит от массы осевшей на фильтре пыли.



Плюсами данного метода являются:

- возможность непрерывного мониторинга;
- отсутствие зависимости показаний от физико-химических свойств измеряемой пыли;
- возможность измерения больших концентраций (до  $3 \text{ г/м}^3$ ).

Минусы заключаются в больших габаритных размерах технических реализаций и относительно высокой стоимости.

### Радиоизотопный метод

Данный метод основан на ослаблении  $\beta$ -излучения частицами. Концентрация твердых частиц вычисляется по результатам измерений на фильтре до и после нанесения пробы. Лента транспортируется в детекторный блок, где расположен радиоизотопный источник, и производится замер.

Основными достоинствами метода являются простота измерений и малое время отбора пробы.

К недостаткам следует отнести крайне сильное влияние дисперсного и элементного состава на результаты измерений, вызванное неочевидными механизмами осаждения пыли на фильтр и сложностью определения коэффициента поглощения для конкретной пыли.



### Трибоэлектрический метод

Трибоэлектрический метод основан на эффекте контактного обмена зарядами движущихся частиц пыли с измерительным электродом, расположенном в металлическом газоходе. Контроль массовой концентрации пыли происходит путем определения на измерительном электроде наведенной индукции, служащей мерой общего заряда частиц, проходящих вблизи зонда.

Основными плюсами метода являются широкий диапазон измерений и возможность непрерывного мониторинга.

К минусам относится высокая погрешность измерений, вызванная сильной зависимостью результатов от физико-химических свойств частиц, параметров окружающей среды (температура, влажность) и пылегазового потока (скорость, температура и т.д.).



### **Метод измерения дифференциального давления**

Метод, основанный на измерении перепада давления на фильтре (депремометрический метод). Он включает прокачивание порции пылегазового потока через фильтр и измерение разности давлений на входе и выходе фильтра. Результаты измерения пропорциональны массовой концентрации пыли. Достоинством метода является сравнительная простота его реализации. Однако он требует строгой стабилизации основных параметров пылегазового потока (скорости, температуры и др.).



### **Метод дифференциальной электрической подвижности**

Метод измерений основан на сепарации аэрозольных частиц по размерам при прохождении их через электрическое поле, где заряженные аэрозольные частицы меняют свою траекторию движения в зависимости от их размера, скорости потока аэрозоля, напряженности электрического поля и геометрии классификатора.

Главным плюсом метода является возможность получить функцию распределения массовой концентрации частиц от их размера, в том числе в наноразмерном диапазоне.

Минусом является зависимость результатов от физико-химических свойств измеряемых частиц.



### Выводы

Для решения проблемы, связанной с отсутствием единства измерений массовой концентрации аэрозольных частиц, во ФГУП «ВНИИФТРИ» было сделано следующее.

Разработан прибор, основанный на совместной работе пьезобалансного метода и метода ТЕОМ.

В качестве рабочего эталона применяется совокупность оптических методов, позволяющая измерять функцию распределения частиц по размерам, массовую и счетную концентрации (в том числе функцию распределения частиц по массовым концентрациям).

Усовершенствован диффузионный аэрозольный спектрометр с целью измерения массовой концентрации нанодисперсных аэрозолей (в том числе сильно заряженных).

Разработана методика измерений массовой концентрации аэрозольных частиц методом ДЭП с учетом их плотности и возможностью сравнения с прямым методом.

### Литература

1. Рузер Л.С. Радиоактивные аэрозоли. Измерение концентрации и поглощённых доз. М.: Изд-во Стандартов, 1968, 192, с. 5.
2. Гоин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы: пер. с англ. Под ред. Н.А. Фукса. Л.: Химия, 1969.

3. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. М.: Химия, 1978, с. 207.
4. Коузов П.А., Скрябина Л.Я. методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. – Л.: Химия, 1983, 143 с.