

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА НАНОМЕТРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ АНАЛИЗАТОРОМ ПОДВИЖНОСТИ

Скапцов А.С.

УО «Могилевский государственный университет продовольствия»
Могилев, Беларусь

В практике аэрозольных исследований большое распространение получили дифференциальные анализаторы подвижности частиц, применяемые для выделения из аэрозоля фракции частиц заданного размера с узким спектром и для определения функции распределения частиц по размерам. Указанные приборы используют, в частности, при проведении исследований по осаждению нанометрических частиц в каналах разной геометрической формы и системе волокон различных размеров и конфигурации. В ходе проведения упомянутых экспериментов было установлено, что коэффициент проскока аэрозоля с размером частиц менее 2 нм при ламинарном течении через цилиндрические трубки и через систему волокон, расположенных перпендикулярно к направлению газового потока, несколько выше теоретически рассчитываемого. Отмеченное расхождение может быть объяснено тепловым отскоком частиц от поверхности трубок или волокон, если скорость теплового движения частиц превышает некоторую критическую скорость. Вместе с тем остается невыясненным вопрос о точности определения размера частиц с помощью анализатора для частиц нанометрических размеров.

Электрическая подвижность частиц Z_{pc} , разделяемых при заданном значении напряжения, описывается известным выражением Кнудсона и Уингби:

$$Z_{pc} = \frac{U_c + 0.5(U_a - U_s)}{2\pi LV} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad (1)$$

где U_c , U_a и U_s – скорости аэрозоля на выходе, на входе и скорость газового потока, обдувающего и разбавляющего аэрозоль, L – расстояние между местом входа и выхода аэрозоля, V – напряжение между электродами анализатора, r_1 и r_2 – радиусы внутреннего и внешнего электродов, соответственно. Расчет размеров частиц по известной подвижности осуществляется по формуле Стокса-Эйнштейна.

Однако уравнение (1) для подвижности Z_{pc} может привести к серьезным ошибкам, когда размер частиц составляет несколько нанометров или менее, а концентрация частиц – достаточно высока. С одной стороны, если классифицируемые частицы достаточно малы, то

электрическое поле самого анализатора тоже очень мало и может быть того же порядка, что и электрическое поле создаваемое пространственным зарядом частиц при их высокой концентрации. С другой стороны, если не принимать во внимание концентрацию аэрозоля, броуновское движение нанометрических частиц столь велико, что отдельные траектории частиц различных размеров начинают пересекаться друг с другом. В результате часть частиц выделяемого размера покидают анализатор с избыточным воздушным потоком, в то время как другие, имеющие электрическую подвижность выходящую за пределы теоретически рассчитанной области, остаются в отбираемой пробе. Как следствие, диапазон подвижности частиц и, соответственно, размеров частиц, несколько шире, чем при отсутствии броуновской диффузии частиц. Более того, среднее значение электрической подвижности частиц может существенно (до 20%) отличаться от теоретически рассчитанной. Наличие подобного явления (сдвиг подвижности) получило экспериментальное подтверждение в одной из работ. Однако авторы этой работы не смогли найти удовлетворительного объяснения полученным результатам.

Каждый из механизмов (наличие поля пространственного заряда и броуновская диффузия частиц) в отдельности или оба вместе приводят к тому, что электрическая подвижность выделяемых частиц отличается от теоретически предсказываемой формулой (1). В одной из работ была предложена простая модель, позволяющая оценивать подвижность с учетом броуновской диффузии и пространственного заряда частиц. Однако эта модель не может быть использована для проведения точных расчетов. Таким образом, в настоящее время использовать один анализатор для точного определения функции распределения нанометрических частиц по размерам не представляется возможным. Одним из путей решения указанной проблемы является применение тандема из двух анализаторов. В этом случае точное измерение размера частиц возможно после классификации частиц в первом анализаторе. Во-первых, после прохождения первого анализатора концентрация частиц значительно уменьшается и влиянием пространственного заряда на измерение во втором анализаторе можно пренебречь. Во-вторых, аэрозоль, входящий во второй анализатор, является достаточно монодисперсным, и поэтому сдвигом подвижности из-за пересечения траекторий частиц различных размеров, тоже можно пренебречь.