

А. А. Подольский, В. И. Турубаров

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АКУСТИЧЕСКОЙ КОАГУЛЯЦИИ АЭРОЗОЛЕЙ НЕФЕЛОМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Эффективность фильтров, предназначенных для улавливания взвешенных частиц из отходящих газов, возрастает с увеличением среднего размера частиц. Для ускорения естественного процесса агрегатирования частиц в лабораторной и отчасти в промышленной практике применяется высокоинтенсивное звуковое поле.

Счетная концентрация аэрозольных частиц в процессе коагуляции изменяется по экспоненциальному закону [1]:

$$\partial = \partial_0 e^{-St} . \quad (1)$$

Здесь S — коэффициент акустической коагуляции, являющийся функцией физических характеристик аэрозоля и параметров звукового поля.

Поскольку коэффициент акустической коагуляции полностью определяет кинетику процесса агрегатирования, методы быстрого определения его в действующей акустической установке могут представить интерес для оптимизации режима работы агломерационной камеры.

Из выражения (1) следует

$$S = \frac{1}{t} \ln \frac{\partial_0}{\partial} . \quad (2)$$

Отношение $\frac{\partial_0}{\partial}$ можно выразить через отношение средних кубических радиусов аэрозольных частиц после коагуляции и до коагуляции. Действительно,

$$\partial_0 = \int_{R_1}^{R_2} \frac{d\partial}{dR} dR = \frac{\int_{R_1}^{R_2} R^3 \frac{d\partial}{dR} dR}{R_0^3}; \quad \partial = \frac{\int_{R_{12}}^{R_{22}} R_3^3 \frac{d\partial}{dR} dR}{R^3} . \quad (3)$$

здесь R_{11} и R_{21} — соответственно минимальный и максимальный радиусы аэрозольных частиц до коагуляции;

R_{12} и R_{22} — после коагуляции;

\bar{R}_0 и \bar{R} — средние кубические радиусы частиц [2] соответственно до и после коагуляции.

При условии равенства весовой концентрации или полного объема частиц до и после коагуляции выражение (2) с учетом (3) можно привести к следующему виду:

$$S = \frac{3}{t} \ln \frac{\bar{R}}{\bar{R}_0}. \quad (4)$$

Таким образом, для оценки скорости протекания коагуляционного процесса, при известном времени озвучивания, достаточно экспериментально определить отношение средних радиусов \bar{R}/\bar{R}_0 . Это отношение можно приближенно оценить либо по измерению светорассеяния на аэрозоле до и после коагуляции, либо по измерению поглощения света в аэрозоле до и после коагуляции.

Определение отношения средних радиусов по измерению светорассеяния

При $R > \lambda$ (здесь λ — длина волны света) интенсивность светорассеяния пропорциональна поверхности частиц, взвешенных в единице объема [3]:

$$I = k \int_{R_1}^{R_2} R^2 \frac{d\sigma}{dR} dR, \quad (5)$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Заменим полидисперсный аэрозоль фиктивным монодисперсным, имеющим одинаковые с реальным объем и поверхность всех частиц, введя в рассмотрение средний радиус аэрозольных частиц (радиус Саутера), определяемый как [2]

$$\bar{R}_c = \frac{\int_{R_1}^{R_2} R^3 \frac{d\sigma}{dR} dR}{\int_{R_1}^{R_2} R^2 \frac{d\sigma}{dR} dR}. \quad (6)$$

Используя (5), получим:

$$\bar{R}_c = \frac{k}{I} \int_{R_1}^{R_2} R^3 \frac{d\sigma}{dR} dR. \quad (7)$$

Определяя величину радиуса Саутера до и после коагуляции соответственно как

$$\bar{R}_c^{(0)} = \frac{k}{I_1} \int_{R_{11}}^{R_{21}} R^3 \frac{d\delta_0}{dR} dR; \quad \bar{R}_c = \frac{k}{I_2} \int_{R_{12}}^{R_{22}} R^3 \frac{d\delta}{dR} dR$$

и принимая во внимание, что суммарный объем всех частиц до и после коагуляции не изменяется, получим:

$$\frac{\bar{R}_c}{\bar{R}_c^{(0)}} = \frac{I_1}{I_2} \quad (8)$$

Определение отношения средних радиусов по измерению поглощения света в аэрозоле

Метод оценки величины S по измерению поглощения света в аэрозоле был впервые предложен в работе [4], автором которой была получена следующая формула:

$$\ln \alpha = -\frac{S}{3} t,$$

где α — коэффициент поглощения света.

Определение α производилось путем предварительной градуировки нефелометра набором нейтральных фильтров с известным коэффициентом поглощения. Однако при выводе формулы не была отмечена погрешность, допускаемая при замене \bar{R} на \bar{R}_c , кроме того, как будет показано ниже, величину S можно оценить по нефелограмме без предварительной градуировки нефелометра.

При $R > \lambda$ интенсивность света при прохождении через мутную среду убывает по экспоненциальному закону [5]:

$$I = I_0 \exp \left(-b \int_{R_1}^{R_2} R^2 \frac{d\delta}{dR} dR \right),$$

где b — постоянный коэффициент.

Используя определение радиуса Саутера, получим

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\frac{b}{\bar{R}_c} \int_{R_1}^{R_2} R^3 \frac{d\delta}{dR} dR.$$

Обозначив интенсивность света, прошедшего через мутную среду, через J_1 до коагуляции и через J_2 после коагуляции, получим для I_1, I_2 отношения средних радиусов

$$\frac{\bar{R}_c}{\bar{R}_c^{(0)}} = \frac{\ln \frac{J_1}{I_0}}{\ln \frac{J_2}{I_0}} \quad (9)$$

Расчеты показывают, что для разнообразных функций распределения частиц по размерам [2] погрешность при замене отношения средних кубических радиусов, отношением средних радиусов Саутера не превышает 15÷20%. Исходя из выражения (4) и используя соотношения (8) и (9), можно получить приближенные формулы, позволяющие экспериментально определить коэффициент акустической коагуляции:

$$S \simeq \frac{3}{t} \ln \frac{I_1}{I_2}; \quad (10)$$

$$S \simeq \frac{3}{t} \ln \left[\frac{\ln \frac{I_1}{I_0}}{\ln \frac{I_2}{I_0}} \right]. \quad (11)$$

Из формул (10) и (11) следует, что при постоянстве значений I_1 и I_2 или I_0 , I_1 и I_2 величина S обратно пропорциональна времени t . Если на протяжении серии опытов фиксировать значения I_1 и I_2 и времени t , в течение которого интенсивность света изменяется от I_1 до I_2 , то изменение скорости коагуляции от опыта к опыту можно оценивать непосредственно по отношению величин t .

Аппаратура для измерения коэффициента акустической коагуляции

Оценку коэффициента акустической коагуляции путем измерения светорассеяния удобно производить с помощью нефелометра типа КОЛ-45, предназначенного для измерений коэффициента троскока аэрозольных фильтров.

На рис. 1 представлена оптическая схема прибора [6]. Лампа 1 освещает аэрозоль в камере 5 и молочную пластинку 2 фотометрического устройства, которая служит относительной единицей измерения яркости освещенного аэрозоля. При заданном режиме работы поворотная пластинка 4 выравнивается в постоянном положении и фотометрическое равновесие освещенности полей сравнения в кубике Люммера 8 устанавливается подбором величины раскрытия фотометрической диафрагмы 3 и переключением нейтральных светофильтров 6, 7.

Обозначив яркость света в камере нефелометра через I и яркость эталонной молочной пластинки 3 через $I_{эт}$, можно написать равенство, соответствующее фотометрическому равновесию на полях сравнения кубика Люммера [6]:

$$\beta I \Gamma_k = P I_{эт} \Gamma_{эт} T \cdot \frac{1}{100}. \quad (12)$$

Здесь β , P — постоянные коэффициенты, характерные для данного прибора при определенной настройке лампы и при постоянном положении поворотной пластинки сравнения;

Γ_k , $\Gamma_{эт}$ — коэффициенты светопропускания нейтральных свето-

фильтров, которые предполагаются одновременно стоящими на пути света из камеры (Γ_K) и на пути света от эталонной пластинки ($\Gamma_{ЭТ}$);

T — коэффициент светопропускания в процентах по шкале барабана диафрагмы.

Методика определения величины S с помощью нефелометра КОЛ-45 сводится к следующему. Установив постоянную скорость

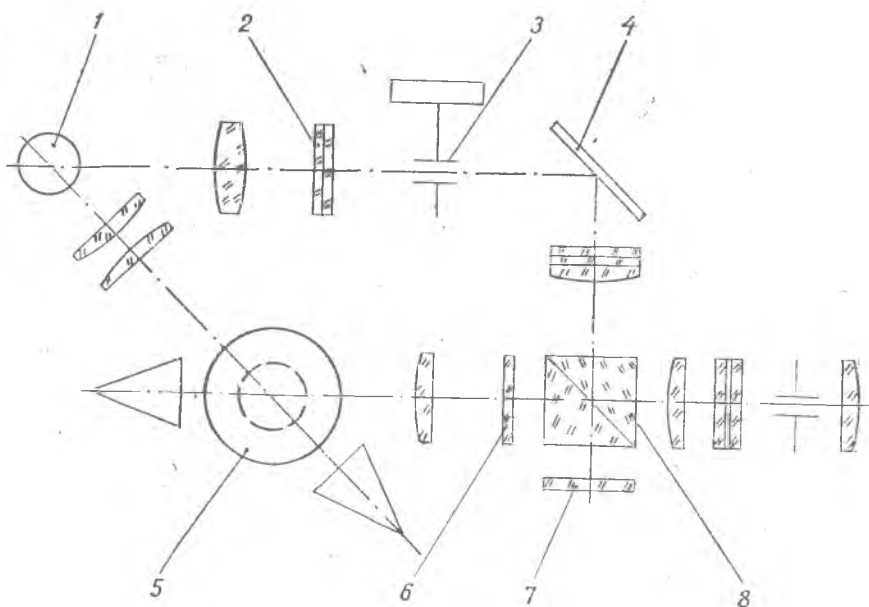


Рис. 1.

прохождения запыленных газов через агломерационную установку и через камеру нефелометра, для интенсивности светорассеяния в камере получим:

$$I_1 = \frac{\rho}{\beta} \cdot \left(\frac{\Gamma_{ЭТ}}{\Gamma_K} \right)_1 \cdot \frac{T_1}{100} I_{ЭТ}. \quad (13)$$

После включения звукового генератора дисперсный состав аэрозоля изменяется, соответственно изменяется интенсивность светорассеяния:

$$I_2 = \frac{\rho}{\beta} \cdot \left(\frac{\Gamma_{ЭТ}}{\Gamma_K} \right)_2 \cdot \frac{T_2}{100} I_{ЭТ}. \quad (14)$$

Разделив (13) на (14), получим:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{\Gamma_{ЭТ}}{\Gamma_K} \right)_1 \left(\frac{\Gamma_K}{\Gamma_{ЭТ}} \right)_2 \cdot \frac{T_1}{T_2}. \quad (15)$$

Подставляя соотношение (15) в выражение (10) и определяя

время озвучивания как среднее время нахождения аэрозоля в коагуляционной камере, найдем коэффициент акустической коагуляции S . Необходимо отметить, что частичное осаждение аэрозольных частиц в воздуховоде, соединяющем нефелометр с коагуляционной камерой, вызывает дополнительную погрешность измерений, для уменьшения которой необходимо по возможности сократить длину воздуховода и поддерживать постоянным расход воздуха через него.

Для определения коэффициента акустической коагуляции по формуле (11) можно использовать одну из модификаций лабораторного нефелометра, описанного в [7]. В основе конструкции прибора лежит известный принцип фотоэлектрического измерения ослабления светового луча при прохождении через мутную среду. Нефелометр включает два блока: осветительный и приемный, изготовленные из унифицированных деталей. Каждый блок состоит из двух телескопических труб. В наружных трубах укреплены фокусирующие линзы, во внутренней трубе осветителя — патрон с источником света, а приемного блока — патрон с фотоспротивлением. Перемещением внутренних труб достигается установка источника света и фотоспротивления в фокусе соответствующей линзы. В качестве источника света и блока питания к нему используются узлы серийного осветителя типа ОИ-19, в качестве фотоспротивления — фотоспротивление типа ФСК-П1 с линейной зависимостью фототока от освещенности. Изменение тока через фотоспротивление в процессе коагуляции регистрируется микроамперметром и электронным самописцем типа Н-110, время озвучивания — также самописцем Н-110.

При использовании нефелометра в лабораторных условиях блоки вставляются в специальные стаканы, расположенные по обе стороны коагуляционной камеры. Перед проведением каждой серии опытов проверяется соосность положения блоков нефелометра по максимуму показаний самописца. Благодаря линейной зависимости фототока от освещенности у фотоспротивления ФСК-П1, можно при расчете коэффициента коагуляции заменить в формуле (11) освещенности на соответствующие значения токов. Поскольку при определении коэффициента акустической коагуляции по измерению поглощения света нефелометрическая система устанавливается непосредственно в зоне коагуляции, то появляется дополнительная погрешность из-за осаждения частиц аэрозоля на линзах или защитных стеклах нефелометра.

Точность описанных выше методов проверялась в лабораторных установках на стандартном аэрозоле — масляном тумане. Результаты многократных измерений седиментационным методом с последующим микроскопическим анализом показали, что суммарная погрешность в обоих случаях не превышает $30 \div 40\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. П. Медников. Акустическая коагуляция и осаждение аэрозолей. Изд. АН СССР, М., 1963.
2. К. Спурный, Ч. Йех, Б. Седлачек, О. Шторх. Аэрозоли. Атомиздат, М., 1964.
3. А. А. Шишловский. Прикладная физическая оптика. Физматгиз, М., 1961.
4. В. И. Тимошенко. Исследование взаимодействия аэрозольных частиц в акустическом поле. Диссертация. Л., 1964.
5. К. С. Шифрин. Рассеяние света в мутной среде. ГИТТЛ, М., 1951.
6. Нефелометр для аэрозолей, КОД-45. Описание.
7. В. Б. Лурьев, В. И. Никитенко, А. А. Подольский, В. И. Турбаров. Измерение весовой концентрации аэрозоля окиси цинка в лабораторных и заводских условиях. Лакокрасочные материалы и их применение, № 1, 64—67, 1965.

