



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: по данным на 09.03.2016 - действует
Пошлина: учтена за 6 год с 26.10.2015 по 25.10.2016

(21), (22) Заявка: 2010143653/28, 25.10.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.10.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.10.2010

(45) Опубликовано: 27.01.2012

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2360229 C2, 27.06.2009. JP 2009216575 A,
24.09.2009. JP 2006170902 A, 29.06.2006. EP 1278057
A2, 22.03.2003.

Адрес для переписки:

659322, Алтайский край, г. Бийск, ул.
Социалистическая, 1, Учреждение Российской
академии наук Институт проблем химико-
энергетических технологий Сибирского
отделения РАН

(72) Автор(ы):

Архипов Владимир Афанасьевич (RU),
Павленко Анатолий Александрович (RU),
Титов Сергей Сергеевич (RU),
Кудряшова Ольга Борисовна (RU),
Бондарчук Сергей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Учреждение Российской академии наук
Институт проблем химико-энергетических
технологий Сибирского отделения РАН
(ИПХЭТ СО РАН) (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ В
АЭРОЗОЛЬНОМ ОБЛАКЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерению характеристик частиц в двухфазных средах оптическими методами. Способ определения дисперсности и концентрации частиц в аэрозольном облаке основан на измерении ослабления параллельного пучка зондирующего оптического излучения. При этом спектральный коэффициент пропускания измеряют в диапазоне длин волн зондирующего оптического излучения $\lambda = (0.3 \div 1.1)$ мкм. Интенсивность излучения измеряют с временным разрешением не более $0.01 \cdot \Delta t$ (где Δt - характерное время изменения размеров аэрозольного облака). Оптическую длину пути и объем облака определяют с помощью скоростной видеосъемки, проводимой не менее чем в двух ракурсах. Дисперсность аэрозольных частиц определяют из решения обратной

$$\tau(\lambda, t) = 0.25 \pi C_n(t) l(t) \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} Q[\alpha, m(\lambda)] D^2 f(D, t) dD,$$

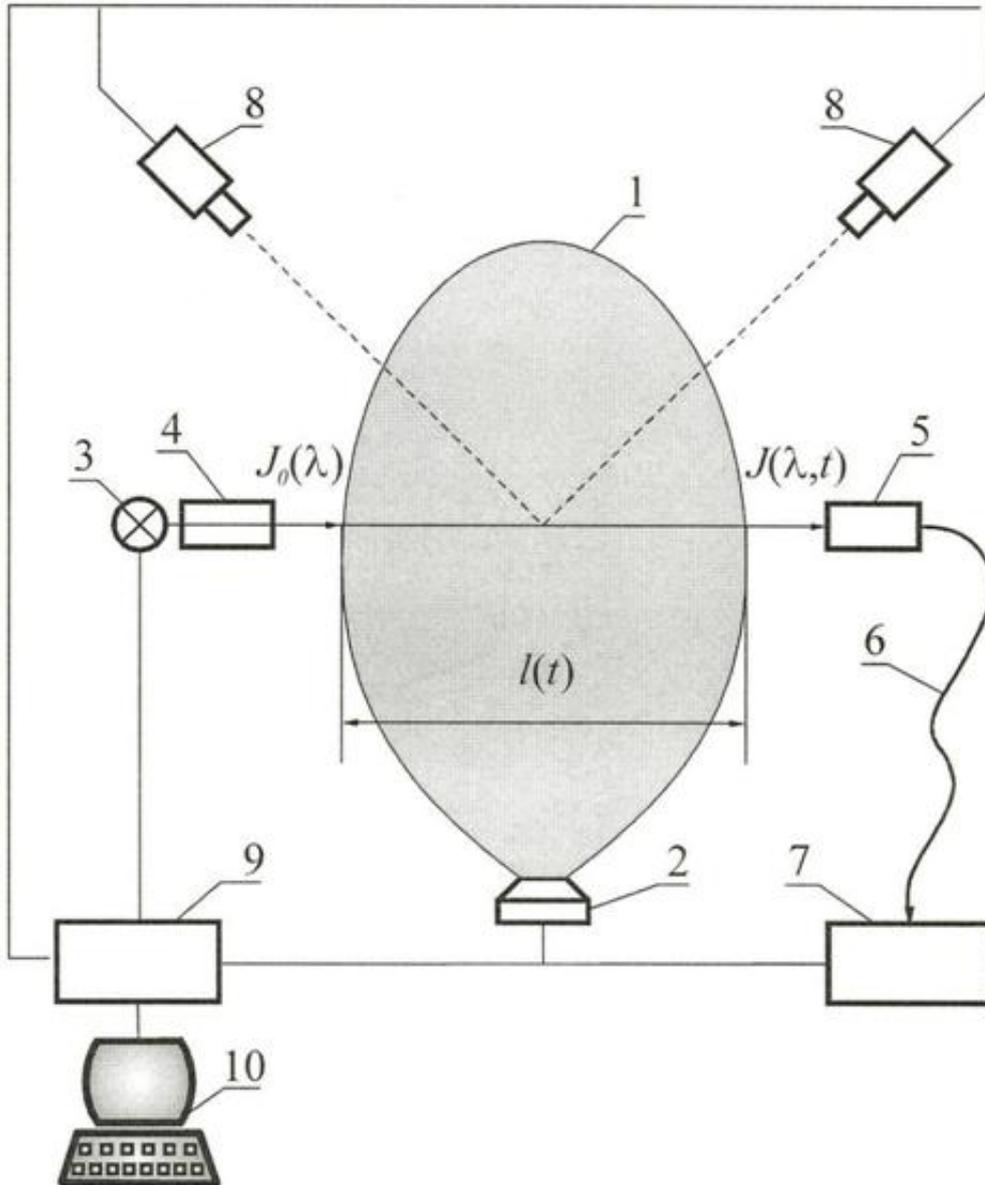
задачи для уравнения:

$$C_n(t) = \frac{M}{V(t)}; \quad C_n(t) = \frac{6C_n(t)}{\pi \rho \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^3 f(D, t) dD},$$

аэрозольных частиц определяют по формулам:

, где λ -длина волны зондирующего оптического излучения; $\tau(\lambda, t) = \ln[I/I(\lambda, t)]$ - спектральная оптическая плотность

аэрозольного облака; $T(\lambda, t) = [J(\lambda, t) / J_0(\lambda)]$ - спектральный коэффициент пропускания; $J(\lambda, t)$, $J_0(\lambda)$ - интенсивность прошедшего через аэрозольное облако и поступающего на него зондирующего оптического излучения; $C_n(t)$, $C_m(t)$ - счетная и массовая концентрации аэрозольных частиц; $l(t)$ - оптическая длина пути; $Q[\alpha, m(\lambda)]$ - фактор эффективности ослабления аэрозольных частиц; $\alpha = \pi D / \lambda$ - параметр дифракции; D - диаметр аэрозольных частиц; D_{max} , D_{min} - максимальный и минимальный диаметр частиц, наличие которых возможно в аэрозольном облаке; $f(D, t)$ - дифференциальная функция счетного распределения аэрозольных частиц по размерам, характеризующая их дисперсность; $m(\lambda)$ - относительный комплексный показатель преломления материала аэрозольных частиц; M - масса распыленного вещества в аэрозольном облаке; $V(t)$ - объем аэрозольного облака; ρ - плотность материала аэрозольных частиц. Техническим результатом изобретения является повышение точности и информативности, а также расширение области применения метода спектральной прозрачности. 11 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к области контрольно-измерительной техники, в частности к измерению характеристик частиц в двухфазных средах оптическими методами, и предназначено для определения дисперсности и концентрации частиц микронных и субмикронных размеров в различных аэрозольных образованиях, в том числе и в аэрозольных облаках переменного объема. Изобретение может найти применение в химической технологии, коллоидной химии, медицине, при контроле загрязнения окружающей среды и в других отраслях для определения характеристик и динамики распространения аэрозольных систем.

Известны способы определения размеров и концентрации аэрозольных частиц, основанные на измерении ослабления параллельного пучка оптического зондирующего излучения [1-4]. При этом спектральный коэффициент ослабления зондирующего излучения измеряют для ограниченного набора длин волн (от одной до четырех), привлекают априорную информацию о спектре размеров аэрозольных частиц и проводят измерения дополнительных параметров (в частности, массового расхода частиц и газа [2]). В качестве теоретической основы известных методов используется уравнение спектральной прозрачности полидисперсных аэрозольных систем [1, 5] и теория Ми для расчета факторов эффективности ослабления одиночных частиц [6].

Наиболее близким по технической сущности является способ определения дисперсности аэрозоля, основанный на измерении спектральных коэффициентов ослабления на трех длинах волн и расчете соответствующих усредненных факторов эффективности ослабления [7].

Недостатками данного способа являются недостаточная информативность, так как определяется лишь средний диаметр частиц, и возможность диагностики только стационарных аэрозольных систем.

Целью настоящего изобретения является повышение точности и информативности измерений, а также возможность диагностики нестационарных аэрозольных образований с переменным дисперсным составом.

Технический результат изобретения достигается тем, что разработан способ определения дисперсности и концентрации частиц в аэрозольном облаке, основанный на измерении ослабления параллельного пучка зондирующего оптического излучения, отличающийся тем, что спектральный коэффициент пропускания измеряют в диапазоне длин волн зондирующего оптического излучения $\lambda = (0.3 \div 1.1)$ мкм, интенсивность излучения измеряют с временным разрешением не более $0.01 \cdot \Delta t$ (где Δt - характерное время изменения размеров аэрозольного облака), оптическую длину пути и объем облака определяют с помощью скоростной видеосъемки, проводимой не менее чем в двух ракурсах, дисперсность аэрозольных частиц определяют из решения обратной задачи для уравнения:

$$\tau(\lambda, t) = 0.25 \pi C_n(t) l(t) \int_{D_{min}}^{D_{max}} Q[\alpha, m(\lambda)] D^2 f(D, t) dD$$

а концентрацию аэрозольных частиц определяют по формулам:

$$C_n(t) = \frac{M}{V(t)}; \quad C_m(t) = \frac{6 C_n(t)}{\pi \rho \int_{D_{min}}^{D_{max}} D^3 f(D, t) dD}$$

где:

λ - длина волны зондирующего оптического излучения;

$\tau(\lambda, t) = \ln[I_0(\lambda, t)/I(\lambda, t)]$ - спектральная оптическая плотность аэрозольного облака;

$T(\lambda, t) = [J(\lambda, t)/J_0(\lambda)]$ - спектральный коэффициент пропускания;

$J(\lambda, t), J_0(\lambda)$ - интенсивность прошедшего через аэрозольное облако и поступающего на него зондирующего оптического излучения;

$C_n(t), C_m(t)$ - счетная и массовая концентрации аэрозольных частиц;

$l(t)$ - оптическая длина пути;

$Q[\alpha, m(\lambda)]$ - фактор эффективности ослабления аэрозольных частиц;

$\alpha = \pi D/\lambda$ - параметр дифракции;

D - диаметр аэрозольных частиц;

D_{\max}, D_{\min} - максимальный и минимальный диаметр частиц, наличие которых возможно в аэрозольном облаке;

$f(D,t)$ - дифференциальная функция счетного распределения аэрозольных частиц по размерам, характеризующая их дисперсность;

$m(\lambda)$ - относительный комплексный показатель преломления материала аэрозольных частиц;

M - масса распыленного вещества в аэрозольном облаке;

V(t) - объем аэрозольного облака;

ρ - плотность материала аэрозольных частиц.

Полученный положительный эффект изобретения связан с тем, что впервые при измерении спектрального коэффициента ослабления в диапазоне длин волн зондирующего оптического излучения $\lambda = (0.3 \div 1,1)$ мкм из решения обратной задачи для уравнения спектральной прозрачности:

$$\tau(\lambda, t) = 0.25\pi C_n(t)l(t) \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} Q[\alpha, m(\lambda)] D^2 f(D, t) dD, \quad (1)$$

определяется функция счетного распределения частиц по размерам $f(D,t)$. Эта функция полностью описывает спектр размеров аэрозольных частиц в отличие от известных методов, которые позволяют определить только средний объемно-поверхностный диаметр частиц D_{32} .

Выбор диапазона длин волн проведен с помощью численного эксперимента по решению прямой задачи для уравнения (1).

Выбор временного разрешения $t_{\Delta} \leq 0.01 \Delta t$ (Δt - характерное время изменения размеров аэрозольного облака) позволяет повысить точность измерения, поскольку за время t_{Δ} параметры расширяющегося аэрозольного облака можно считать постоянным (с погрешностью не более 1%).

Скоростная видеосъемка аэрозольного облака позволяет определять изменение его объема V(t) и длины оптического пути l(t) с высоким временным разрешением. При этом для повышения точности определения V(t) и l(t) съемка проводится не меньше, чем в двух ракурсах. Это позволяет с высокой точностью рассчитать параметры облака (даже несимметричной формы) компьютерной обработкой видеоряда. Измеренные таким образом значения V(t) и l(t) после подстановки в уравнение (1) и в уравнения

$$C_m(t) = \frac{M}{V(t)}, \quad C_n(t) = \frac{6C_m(t)}{\pi\rho \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^3 f(D, t) dD} \quad (2)$$

позволяют определить значение функции распределения $f(D,t)$ и концентрацию частиц $C_m(t), C_n(t)$ в любой момент времени.

Сравнение заявляемого способа определения дисперсности и концентрации частиц в аэрозольном облаке с прототипом и другими способами показывает, что предложенное сочетание признаков ранее неизвестно.

Пример реализации заявляемого способа приведен на фиг.1, где представлена схема лабораторной установки для измерения параметров аэрозольного облака.

Облако водного аэрозоля 1 создавалось путем распыливания порции жидкости (дистиллированной воды) через форсунку 2. Параллельный пучок зондирующего излучения от источника сплошного спектра 3, в качестве которого использовалась галогеновая лампа H22215/ЕНJ, через коллиматор 4 поступал на аэрозольное облако с начальной интенсивностью $J_0(\lambda)$. Ослабленное на аэрозольных частицах излучение с интенсивностью $J(\lambda, t)$ после прохождения оптической длины пути l(t) поступало на вход приемника излучения 5, в качестве которого использовался конденсор, фокусирующий излучение на торце световода. Ослабленный поток излучения с

интенсивностью $J(\lambda, t)$ через световод 6 поступал на вход спектрально-аналитического комплекса 7 на базе спектрометра «S125-2048/14». Параллельно проводилась видеосъемка процесса распространения аэрозольного облака двумя скоростными видеокамерами 8 типа ВидеоСпринт/G4/NG. Для синхронизации процесса измерения распыла жидкости и сбора данных использовался электронный блок 9. Обработка данных проводилась в режиме реального времени с помощью персонального компьютера 10.

С использованием описанной лабораторной установки были проведены измерения спектрального коэффициента пропускания расширяющегося облака водного аэрозоля. На фиг.2а приведен спектр зондирующего излучения до присутствия в измерительном объеме водного аэрозоля. На фиг.2б приведен спектр зондирующего излучения после появления в измерительном объеме водного аэрозоля. Для обоих спектров было проведено усреднение по 80 точкам с целью исключения высокочастотных помех и ряби. На обоих графиках (фиг.2а, 2б) по оси абсцисс отложена длина волны зондирующего излучения, а по оси ординат - относительная величина интенсивности излучения в отсчетах аналого-цифрового преобразователя (АЦП). На фиг.3 приведены значения коэффициента спектрального пропускания, рассчитанные по приведенным выше интенсивностям излучения (фиг.2а, 2б).

Для решения обратной задачи уравнения (1) проведены расчеты зависимости коэффициентов спектрального пропускания от длины волны для функции $f(D)$, выбранной в виде гамма-распределения, что соответствует распределению частиц по размерам в реальном рассматриваемом процессе. Результаты восстановления дифференциальной функции счетного распределения частиц по размерам для разных моментов времени приведены на фиг.4а, 4б.

На фиг.5 приведены кадры видеосъемки процесса эволюции аэрозольного облака в различные моменты времени. Одновременно проводилось определение изменения массовой концентрации аэрозольных частиц в зависимости от времени (фиг.6).

По результатам примера видно, что заявленный способ позволяет определять дифференциальную функцию счетного распределения частиц по размерам и их концентрацию в реальном масштабе времени, что существенно увеличивает информативность и точность исследования динамических процессов, протекающих при создании и эволюции облака субмикронных и микронных аэрозолей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов В.А. Лазерные методы диагностики гетерогенных потоков. - Томск: Изд-во Том. ун-та, 1987. - 140 с.
2. Пат. РФ 717628, МПК G01N 15/02. Способ измерения среднего радиуса металлических капель в двухфазных потоках / Е.В.Соловьев. - № 2343588/18-25; заявл. 01.04.1976; опубл. 25.02.1980, Бюл. № 7. - 3 с.
3. Пат. РФ 1420474, МПК G01N 15/02. Способ определения параметров частиц аэрозоля в газовом потоке / Г.И.Левашенко, В.И.Анцулевич, С.Л.Шуралев, С.В.Симоньков. - № 4037554/24-25; заявл. 17.03.1986; опубл. 30.08.1988, Бюл. № 32. - 3 с.
4. Пат. РФ 2335760, МПК G01N 15/02. Оптический способ определения размеров частиц дисперсной системы / О.Л.Власова, О.А.Писарев, А.Г.Безрукова, П.В.Плотникова. - № 2006121402/28; заявл. 13.06.2006; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 28. - 6 с.
5. Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. - М.-Л.: ГИТТЛ, 1951.
6. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. - М.: ИЛ, 1961.
7. Архипов В.А. Модифицированный метод спектральной прозрачности измерения дисперсности аэрозолей / В.А.Архипов, И.Р.Ахмадеев, С.С.Бондарчук, Б.И.Ворожцов, А.А.Павленко, М.Г.Потапов // Оптика атмосферы и океана. - 2007. - Т.20. - № 1. - С.48-52.

Формула изобретения

Способ определения дисперсности и концентрации частиц в аэрозольном облаке, основанный на измерении ослабления параллельного пучка зондирующего оптического излучения, отличающийся тем, что спектральный коэффициент пропускания измеряют в диапазоне длин волн зондирующего оптического излучения $\lambda = (0.3 \div 1.1)$ мкм, интенсивность излучения измеряют с временным разрешением не более $0.01 \cdot \Delta t$ (где Δt - характерное

время изменения размеров аэрозольного облака), оптическую длину пути и объем облака определяют с помощью скоростной видеосъемки, проводимой не менее чем в двух ракурсах, дисперсность аэрозольных частиц определяют из решения обратной задачи для уравнения

$$\tau(\lambda, t) = 0.25\pi C_n(t) l(t) \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} Q[\alpha, m(\lambda)] D^2 f(D, t) dD,$$

а концентрацию аэрозольных частиц определяют по формулам

$$C_m(t) = \frac{M}{V(t)};$$

$$C_n(t) = \frac{6C_m(t)}{\pi\rho \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^3 f(D, t) dD},$$

где λ - длина волны зондирующего оптического излучения;

$\tau(\lambda, t) = \ln[I_0(\lambda, t)/I(\lambda, t)]$ - спектральная оптическая плотность аэрозольного облака;

$T(\lambda, t) = [J(\lambda, t)/J_0(\lambda)]$ - спектральный коэффициент пропускания;

$J(\lambda, t), J_0(\lambda)$ - интенсивность прошедшего через аэрозольное облако и поступающего на него зондирующего оптического излучения;

$C_n(t), C_m(t)$ - счетная и массовая концентрации аэрозольных частиц;

$l(t)$ - оптическая длина пути;

$Q[\alpha, m(\lambda)]$ - фактор эффективности ослабления аэрозольных частиц;

$\alpha = \pi D/\lambda$ - параметр дифракции;

D - диаметр аэрозольных частиц;

D_{\max}, D_{\min} - максимальный и минимальный диаметры частиц, наличие которых возможно в аэрозольном облаке;

$f(D, t)$ - дифференциальная функция счетного распределения аэрозольных частиц по размерам, характеризующая их дисперсность;

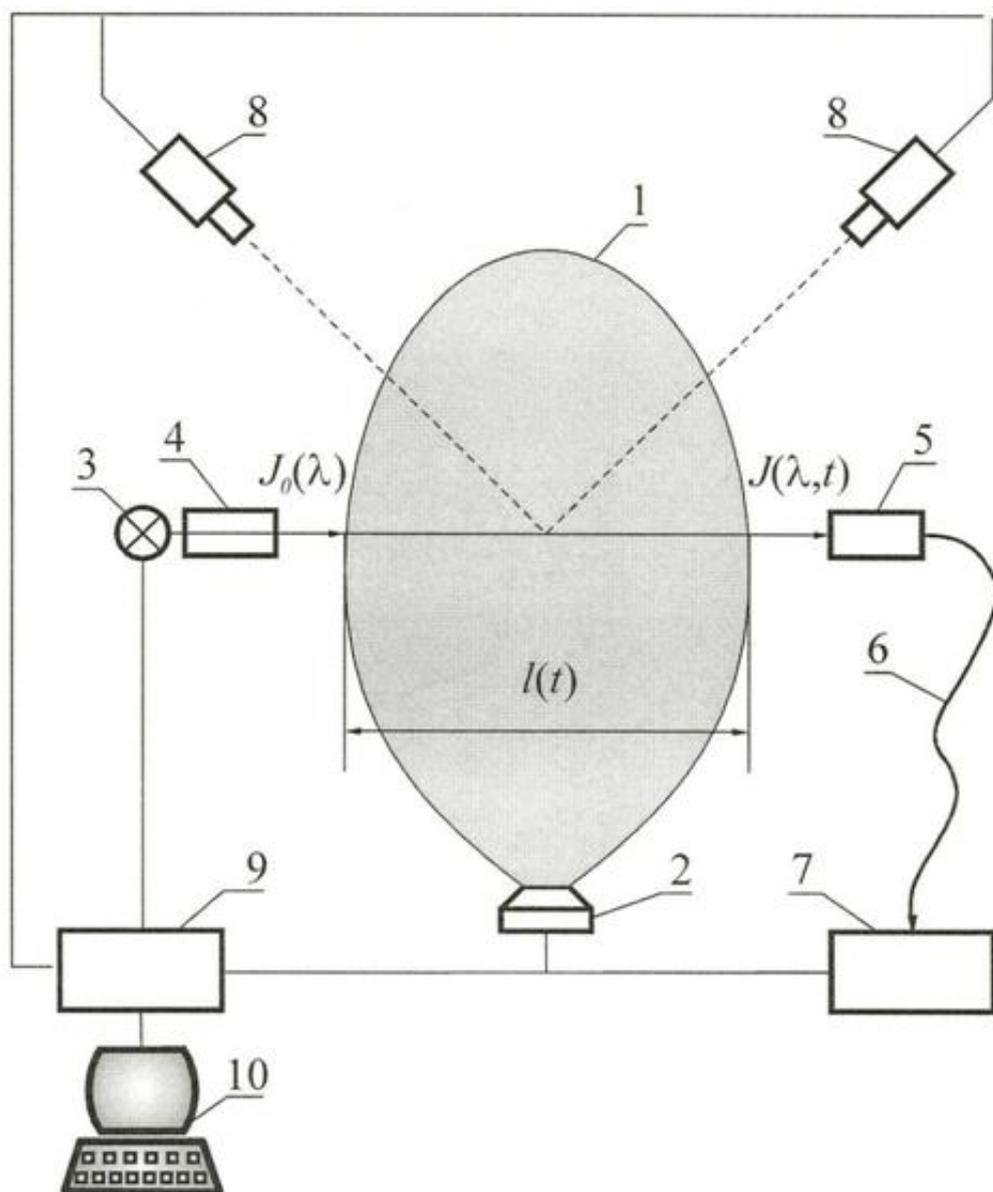
$m(\lambda)$ - относительный комплексный показатель преломления материала аэрозольных частиц;

M - масса распыленного вещества в аэрозольном облаке;

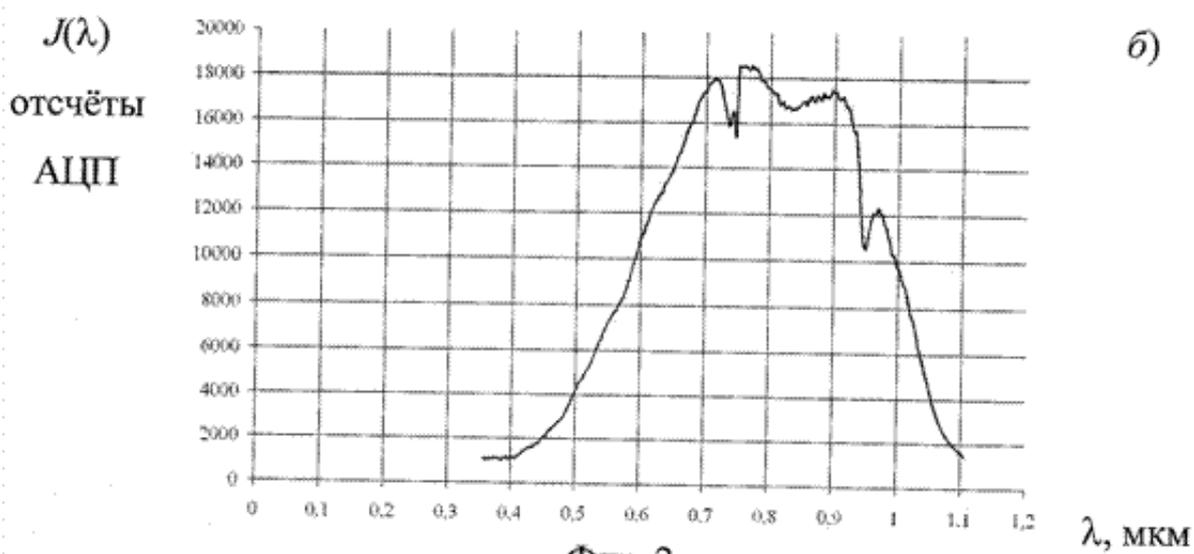
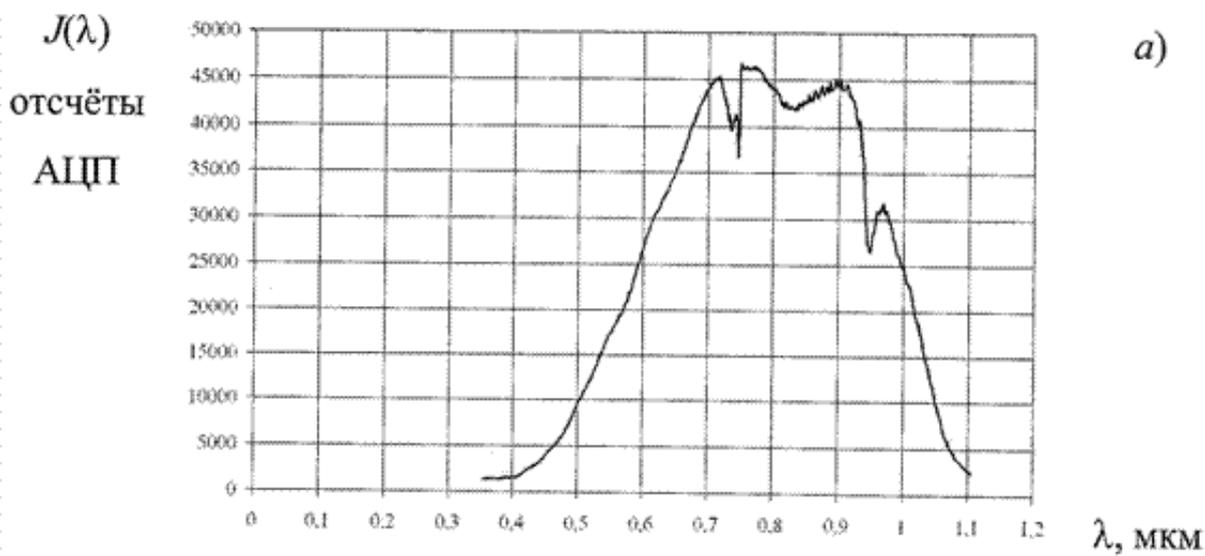
$V(t)$ - объем аэрозольного облака;

ρ - плотность материала аэрозольных частиц.

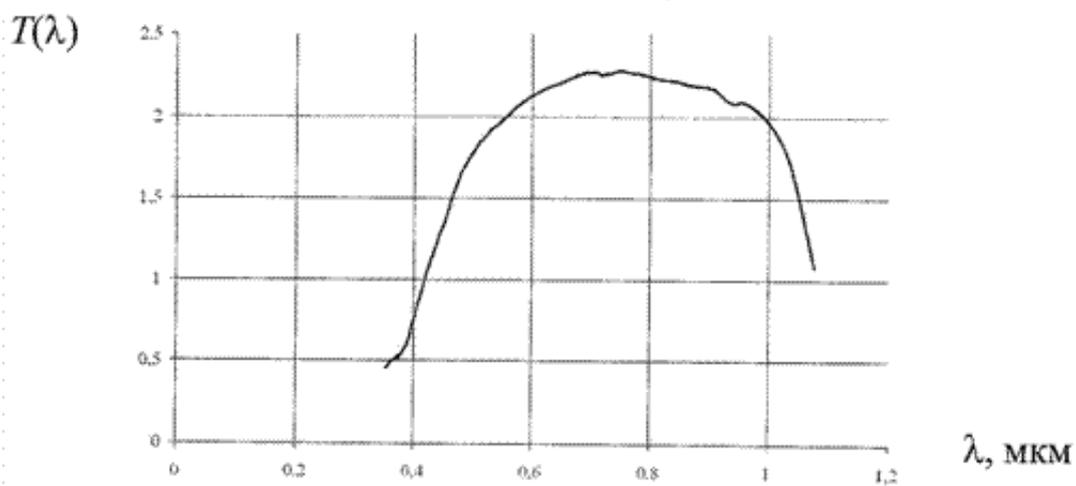
РИСУНКИ



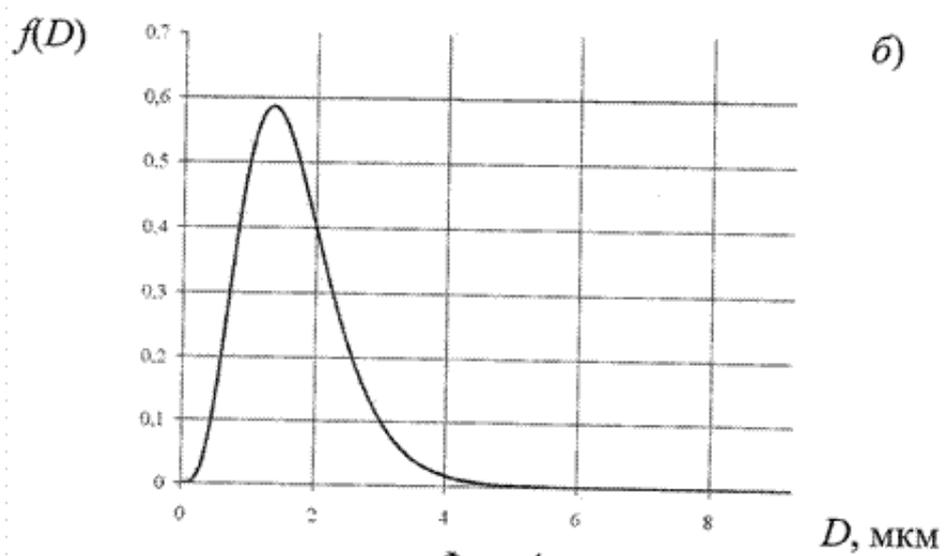
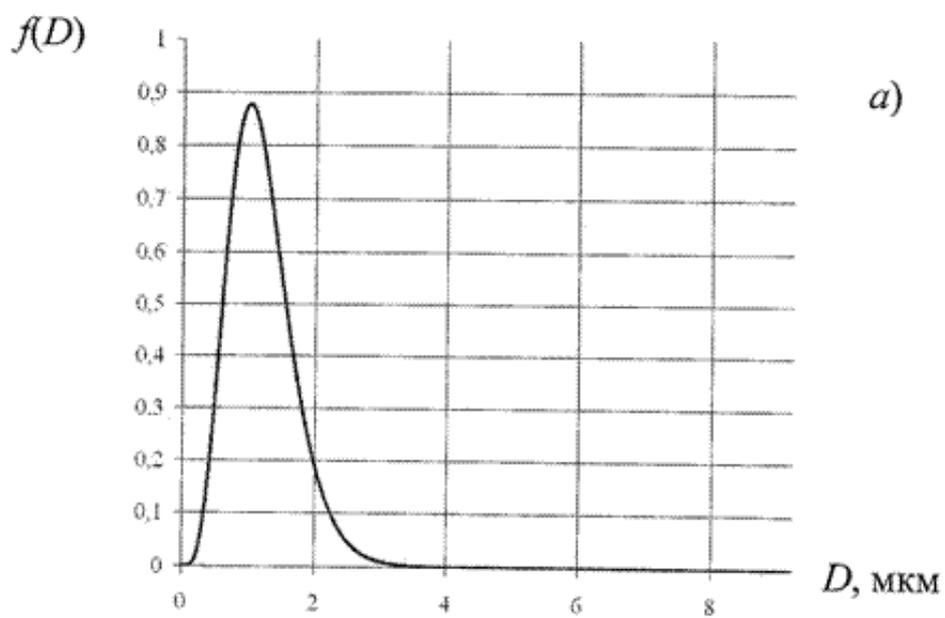
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



$t = 0.5 \text{ нс}$



$t = 2 \text{ нс}$

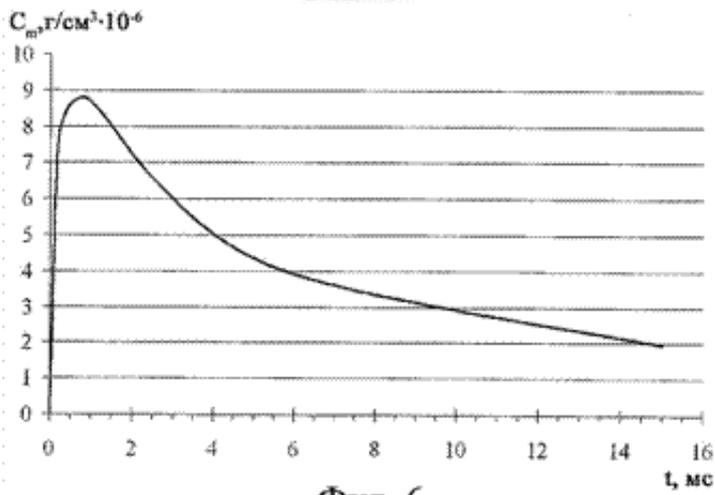


$t = 4 \text{ нс}$



$t = 10 \text{ нс}$

Фиг. 5



Фиг. 6