

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: по данным на 09.03.2016 - действует
Пошлина: учтена за 4 год с 23.05.2015 по 22.05.2016

(21), (22) Заявка: 2012120978/28, 22.05.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.05.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.05.2012

(45) Опубликовано: [10.10.2013](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: Асланов С.К., Колпаков А.В. Влияние
электрического поля на процесс
диспергирования жидкой поверхности // Физика
аэродисперсных систем, Вып.39, с.7-13, 2002. RU
2441218 C1, 27.01.2012. US 4761074 A, 02.08.1988. US
20090183554 A1, 23.07.2009.

Адрес для переписки:

659322, Алтайский край, г. Бийск, ул.
Социалистическая, 1, ФГБУН Институт проблем
химико-энергетических технологий Сибирского
отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО
РАН)

(72) Автор(ы):

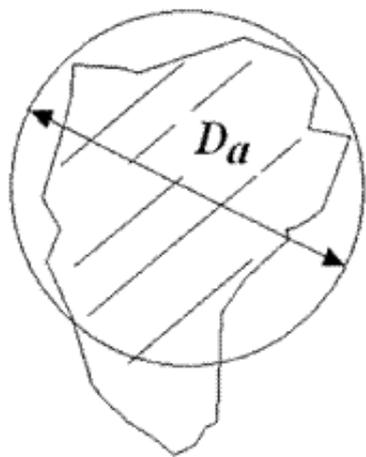
Ишматов Александр Николаевич (RU),
Ворожцов Борис Иванович (RU),
Архипов Владимир Афанасьевич (RU),
Жуков Александр Степанович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт проблем
химико-энергетических технологий
Сибирского отделения Российской
академии наук (ИПХЭТ СО РАН) (RU)(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА КАПЕЛЬ В ФАКЕЛЕ РАСПЫЛА
ФОРСУНКИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к методам исследования жидкокапельных аэрозолей и предназначено для определения дисперсных характеристик распыла форсунок в широком диапазоне размеров частиц, в том числе нанометровом. Способ основан на распылении раствора неиспаряемой примеси в исследуемой жидкости с последующим дисперсным анализом частиц сухого остатка. Распыление раствора определенной концентрации проводят в герметичной камере с заданными условиями по концентрации паров исследуемой жидкости. Для повышения скорости получения контрольных образцов пробоотбор осуществляют при прокачивании выдержанного в камере аэрозоля через электрофильтр на осадительные электроды. Полученный положительный эффект, подтвержденный экспериментально измерением дисперсности ультразвукового распылителя, заключается в возможности восстанавливать реальную функцию распределения капель в факеле форсунки по функции распределения частиц их солевого остатка. Техническим результатом изобретения является расширение диапазона измеряемых частиц, а также повышение точности и информативности существующих методик исследования. 4 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к методам исследования жидкокапельных аэрозолей и предназначено для определения дисперсных характеристик распыла форсунок в широком диапазоне размеров частиц, в том числе нанометровом.

При проведении экспериментальной отработки устройств тонкодисперсного распыления жидкостей и исследования процессов формирования жидкокапельных сред основной задачей является определение дисперсного состава капель в факеле распыла. Известны способы определения размеров жидких аэрозольных частиц, основанные на улавливании капель иммерсионной средой [1]. Однако создание каплеуловителя обусловлено рядом требований: он должен обеспечивать отбор проб по всему радиусу факела, быть достаточно компактным, допускать варьирование времени экспозиции, исключать доступ капель к пробоотборной пластине до и после отбора пробы, предотвращать вторичное дробление капель и попадания брызг, образующихся при ударе капель о поверхность элементов устройства [1, 2]. Эти методы являются косвенными и не дают объективной оценки степени дисперсности распыления жидкости во всем объеме факела, к тому же проведение пробоотбора требует некоторого времени, что является существенным недостатком, т.к. за это время размеры первоначальных капель могут измениться вследствие испарения.

Также известен метод парафинового моделирования [3]. Метод в своем роде уникален, поскольку позволяет оперировать не с выборочной пробой, а со всем множеством капель, формирующихся при распылении. Вместо жидкости распыляют расплавленный парафин, свойства (плотность, вязкость, поверхностное натяжение) которого можно промоделировать в некоторых пределах, нагревая его до определенной температуры. Вылетающие частицы быстро охлаждаются, при этом влияние испарения минимально, поэтому все их можно уловить. Из-за своей сложности его повседневное применение ограничено, но может считаться эталонным.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому и принятому за прототип является способ определения дисперсности капель распыла, основанный на исследовании солевого остатка [4], образующегося при распылении раствора NaCl в среду с относительной влажностью 50% с последующим испарением капель и формированием кристаллов соли.

К недостаткам принятого за прототип способа можно отнести следующее:

1. Распределение первоначальных капель по размерам приравнивают к распределению частиц солевого остатка, что обуславливает погрешность определения размеров капель, так как размер солевого остатка всегда меньше первоначальной капли.
2. Не оценивается морфология частиц сухого остатка, которая может быть различной в зависимости от условий испарения капель.
3. Не учитывается условие полного испарения капель до их осаждения на пробоотборную пластину, что обуславливает погрешность в определении функции распределения частиц, т.к. результаты измерений могут содержать информацию о размерах испарившихся в воздухе мелких частицах и размерах «солевого» следа капель, осевших на пробоотборную пластину.
4. Требуется значительное время для проведения отбора капель. Целью настоящего изобретения является возможность оперативно оценивать размеры первоначальных капель в факеле распыла форсунки по их сухому остатку с учетом процентного содержания неиспаряемого вещества в капле. Тем самым достигается расширение диапазона измеряемых частиц, а также повышается точность и информативность существующих методик исследования.

Технический результат изобретения достигается тем, что:

разработан способ определения дисперсного состава капель в факеле распыла форсунки, включающий распыление раствора неиспаряемой примеси в исследуемой жидкости с последующим дисперсным анализом частиц сухого остатка. Распыление раствора проводят в герметичной камере, а пробоотбор осуществляют при прокачивании выдержанного в камере аэрозоля через электрофильтр на осадительные электроды. При этом начальную относительную массовую концентрацию растворенного вещества в растворе (\tilde{N}_m) определяют из соотношения

$$C_m > \tilde{N}_m^* \quad (1)$$

где \tilde{N}_m^* - равновесная относительная массовая концентрация примеси в растворе.

В герметичной камере создают пары исследуемой жидкости с концентрацией C_∞ , которую выбирают из соотношения

$$C_s - 0,3 \frac{D'_{AB} \rho_d}{D_{AB}} < C_\infty < C_s - \frac{(\rho_d D^2)^2 g}{144 D_{AB} H \mu_g} \quad (2)$$

где C_s - равновесная концентрация паров растворителя над каплей, кг/м³;

D_{AB} - коэффициент диффузии растворенного вещества в растворе, м²/с;

ρ_d - плотность раствора, кг/м³;

D_{AB} - коэффициент диффузии паров растворителя в воздухе, м²/с;

D - диаметр максимальных по размеру капель ожидаемых в распыле, м;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

H - высота нижней границы распыла, м;

μ_g - коэффициент динамической вязкости воздуха, Па·с.

Время выдержки аэрозоля в камере определяют по неравенству

$$\frac{\rho_d D^2}{8D_{AB}(C_s - C_\infty)} < t < \frac{18\mu_g H}{\rho_d D^2 g}, \quad (3)$$

а дисперсный состав первичных капель определяют по формуле

$$D_1 = D_2 \sqrt[3]{\frac{\rho_{imp}}{N_m \rho_d}}, \quad (4)$$

где D_1 - диаметр начальной капли, м;

D_2 - эквивалентный диаметр конечной частицы, м;

ρ_{imp} - плотность растворенного вещества, кг/м³.

Полученный положительный эффект изобретения связан с тем, что впервые в предлагаемом методе перерасчет истинных размеров капель осуществляется по формуле (4) через диаметры частиц сухого остатка. А с целью повышения скорости получения контрольных образцов для пробоотбора применяется электрофильтр, осадительные электроды которого используются в качестве пробоотборников. Принцип осаждения основан на методах электростатической газоочистки [5].

Формула (1) обусловлена требованиями удаленности концентрации примеси от границы насыщения раствора. Условие (2) с одной стороны обусловлено требованиями формирования сплошных солевых частиц для точного определения массы солевого остатка по его форме, т.к. в случае наличия в теле частицы неоднородностей оценить ее массу проблематично, а с другой - требованиями полного испарения капель при их осаждении. Формирование сплошных частиц определяется скоростью испарения и диффузией растворенного вещества в капле по отношению их характерных времен из условия [6]:

$$\frac{t_1}{t_2} < 0,6, \quad (5)$$

где t_1 - характерное время диффузии растворенного вещества в объеме капли, с;

t_2 - характерное время испарения растворителя с поверхности капли, с.

А условие полного испарения капель при их осаждении имеет вид:

$$t_2 < t_3, \quad (6)$$

где t_3 - характерное время гравитационного осаждения капли, с.

Условие полного испарения капель при их осаждении является важным, поскольку очевидно, если формирование частиц сухого растворенного остатка не успевает проходить в воздухе, то их форма может быть искажена в результате растекания испаряющейся жидкой капли, осевшей на предметную пластину.

В соответствии с [7, 8]:

$$t_1 = \frac{D^2}{4D'_{AB}}, \quad (7)$$

$$t_2 = \frac{\rho_d D^2}{8D_{AB}(C_s - C_\infty)}, \quad (8)$$

$$t_3 = \frac{18\mu_g H}{\rho_d D^2 g}. \quad (9)$$

Подставив (7) и (8) в (5), (8) и (9) в (6) получим формулу (2), с помощью которой подбираются условия в экспериментальной камере. В частности, для распыления водных растворов этим условием будет концентрация водяных паров. Температурный фактор в приведенных выше уравнениях учитывается переменными: D_{AB} , C_s , C_∞ ,

D'_{AB} , значения которых в зависимости от температуры будет различным [9].

Время выдержки (3) аэрозоля в камере получено из условия полного испарения всех капель при их неосаждении на дно аэрозольной камеры

$$t_2 < t < t_3.$$

Форма частиц может отличаться от сферической, поэтому их размер выражается через диаметр эквивалентной сферы D_a , площадь которой равна площади проекции частицы (фиг.1). А оценка степени уменьшения аэрозольных частиц вследствие испарения определяется из условия равенства массового содержания неиспаряемой примеси в капле первоначального раствора и частицы после полного испарения растворителя:

$$m = \tilde{N}_m \rho_d V_1 = \rho_{imp} V_2, \quad (10)$$

где m - масса примеси в капле раствора; V_1 , V_2 - объем капли и примеси в ней, соответственно.

Уравнение (4) получено путем соответствующего преобразования (10) при выражении объема через диаметры эквивалентных сфер.

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

Пример реализации заявляемого способа определения дисперсности капель в факеле распыла форсунки приведен на фиг.2, где представлена структурная схема проведения отбора проб. В состав экспериментальной установки входят аэрозольная камера и блок осаждения частиц, который представляет собой электрофильтр [10].

Для исследования форсунку помещают в аэрозольную камеру, в которой создают пары исследуемой жидкости, а их концентрацию выбирают в соответствии с (2). Затем распыляют модельный раствор, концентрация которого выбирается из условия (1). Сформированный аэрозоль выдерживается в камере в течение времени, которое рассчитывается по формуле (3) для максимальных по размеру капель, ожидаемых в распыле. Затем аэрозоль прокачивается через электрофильтр, где частицы заряжаются под действием электрического поля и улавливаются на осадительных электродах, которые используются как пробоотборные пластины.

С использованием описанного способа проведены измерения дисперсности ультразвукового распыления на частотах 2,4 МГц. В качестве модельного раствора использовался раствор NaCl, концентрация которого в соответствии с (1) выбиралась равной 10% и 20%, при этом для 10%-го раствора: $(\rho_d)_1 = 1071 \text{ кг/м}^3$, $\mu_d = 1,19 \text{ Па}\cdot\text{с}$, для 20%-го: $(\rho_d)_2 = 1148 \text{ кг/м}^3$; $\mu_d = 1,56 \text{ Па}\cdot\text{с}$ [11]. В соответствии с формулой (2) рассчитывался диапазон возможных значений концентраций паров испаряемого растворителя в аэрозольной камере. Очевидно, что расчеты обусловлены диаметром самых крупных капель, ожидаемых в распыле. Для данного вида распыления свойственно формирование мелкодисперсных капель ($D < 30 \text{ мкм}$) [12]. По результатам расчета для 10%-го и 20%-го раствора при атмосферном давлении и температуре $T = 293 \text{ К}$: $C_s = 0,02 \text{ кг/м}^3$, $D'_{AB} = 1,1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$, $D_{AB} = 0,23 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, $H = 0,3 \text{ м}$, $\mu_g = 18,27 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ [9]; диапазон значений C_∞ составляет от $0,0046 \text{ кг/м}^3$ до $0,0195 \text{ кг/м}^3$.

Таким образом, нормальные внешние условия: $T = 293 \text{ К}$, относительная влажность воздуха 50% ($C_\infty = 0,01 \text{ кг/м}^3$) для данных характеристик распыла и выбранного раствора вполне удовлетворяют требованиям проведения пробоотбора. При этом время выдержки аэрозоля в камере составляет не менее 0,498 с и не более 11,9 с.

Дисперсность частиц сухого солевого остатка исследовалась с помощью оптического анализатора частиц «Pir 9.0». Результаты измерения счетной функции распределения частиц сухого остатка (1) и восстановленной функции (2) для 10%-го и 20%-го раствора приведены на фиг.3 и 4 соответственно. В случае 10%-го модельного раствора средний размер частиц солевого остатка $D_1(50)=1,98$ мкм, средний размер восстановленных капель $D_2(50)=5,38$ мкм, для случая 20%-го раствора (фиг.4): $D_1(50)=2,22$ мкм; $D_2(50)=4,72$ мкм. Различное содержание NaCl в воде обуславливает отличие по вязкости и плотности раствора, этим объясняется, с учетом особенностей ультразвукового распыления [11], смещение размеров капель в сторону меньших значений при распылении 20%-го раствора.

Из примера видно, что заявленный способ позволяет восстанавливать реальную функцию распределения капель по функции распределения частиц их солевого остатка, что существенно увеличивает информативность и точность исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пажи Д.Г. Основы техники распыливания жидкостей / Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. - М.: Химия, 1984. - 256 с.
2. Стебновский С.В. Импульсное диспергирование как предельный режим разрушения жидкого объема // Физика горения и взрыва. - 2008. - Т.44, № 2 - С.117 - 128.
3. Волынский М.С. Необыкновенная жизнь обыкновенной капли. - М.: Знание, 1986. - 144 с.
4. Асланов С.К., Колпаков А.В. Влияние электрического поля на процесс диспергирования жидкой поверхности // Физика аэродисперсных систем. - 2002. - Вып.39. - С.7-13.
5. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / Верещагин И.П., Левитов В.И., Мирзабекян Г.З., Пашин М.М. - М.: «Энергия», 1974. - 480 с.
6. Архипов В.А., Бондарчук С.С., Жуков А.С. Тепломассоперенос при получении оксидов металлов плазмохимическим методом // Всероссийская конференция «XXIX Сибирский теплофизический семинар» (Новосибирск, 15-17 ноября 2010 г.): материалы конф.: Новосибирск: Институт теплофизики им. С.С. Кутепаладзе, 2010. - доклад с 601.
7. Газовая динамика двухфазных течений в соплах / И.М. Васенин, В.А. Архипов, В.Г. Бутов, А.А. Глазунов, В.Ф. Трофимов. - Томск: Изд-во Томск, ун-та, 1986. - 264 с.
8. Фукс Н.А. Испарение и рост капель в газообразной среде. - М.: Мир, 1986. - 314 с.
9. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. Справочное пособие / Пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1982 г.- 592 с., ил. - Нью-Йорк, 1977 г.
10. Ерошенко В.Г. Особенности обеспыливания газов электрофильтром ЭФА / Промышленная и санитарная очистка газов. М., 1983, № 5, С.7-8.
11. Ведерникова М.И., Старцева Л.Г., Юрьев Ю.Л., Орлов В.П. Примеры и задачи по массообменным процессам химической технологии: справ, пособие в 4 ч. Ч.IV: Основные физические, химические и теплофизические свойства веществ. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. - 154 с.
12. Хмелев В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: научная монография. - Барнаул: изд. АлтГТУ, 1997. - 160 с.

Формула изобретения

Способ определения дисперсного состава капель в факеле распыла форсунки, включающий распыление раствора неиспаряемой примеси в исследуемой жидкости с последующим дисперсным анализом частиц сухого остатка, отличающийся тем, что распыление раствора проводят в герметичной камере, а пробоотбор осуществляют при прокачивании выдержанного в камере аэрозоля через электрофильтр на осадительные электроды, начальную относительную массовую концентрацию растворенного вещества в растворе C_m определяют из соотношения

$$C_m > \bar{N}_m$$

в герметичной камере создают пары исследуемой жидкости с концентрацией C^{\wedge} , которую

выбирают из соотношения

$$C_s - 0,3 \frac{D'_{AB} \rho_d}{D_{AB}} < C_\infty < C_s - \frac{(\rho_d D^2)^2 g}{144 D_{AB} H \mu_g},$$

время выдержки аэрозоля в камере определяют по соотношению

$$\frac{\rho_d D^2}{8 D_{AB} (C_s - C_\infty)} < t < \frac{18 \mu_g H}{\rho_d D^2 g},$$

а дисперсный состав первичных капель определяют по формуле

$$D_1 = D_2 \sqrt[3]{\frac{\rho_{imp}}{\tilde{N}_m \rho_d}},$$

где \tilde{N}_m^* - равновесная относительная массовая концентрация примеси в растворе;

C_s - равновесная концентрация паров растворителя над каплей;

D'_{AB} - коэффициент диффузии растворенного вещества в растворе;

ρ_d - плотность раствора;

D_{AB} - коэффициент диффузии паров растворителя в воздухе;

D - диаметр максимальных по размеру капель, ожидаемых в распыле;

g - ускорение свободного падения;

H - высота нижней границы распыла;

μ_g - коэффициент динамической вязкости воздуха;

D_1 - диаметр начальной капли;

D_2 - эквивалентный диаметр конечной частицы;

ρ_{imp} - плотность растворенного вещества.

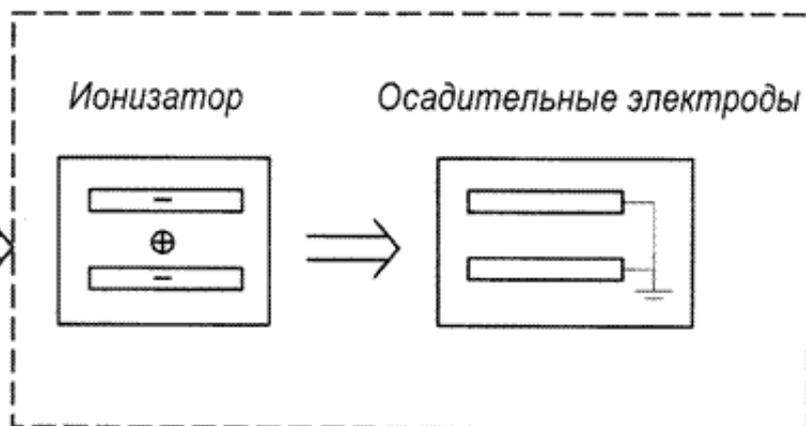
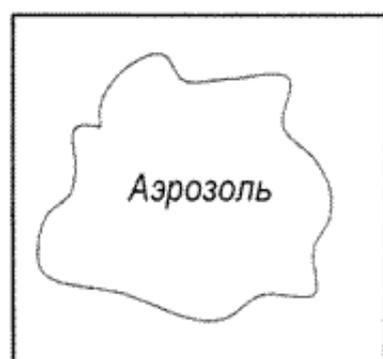
РИСУНКИ



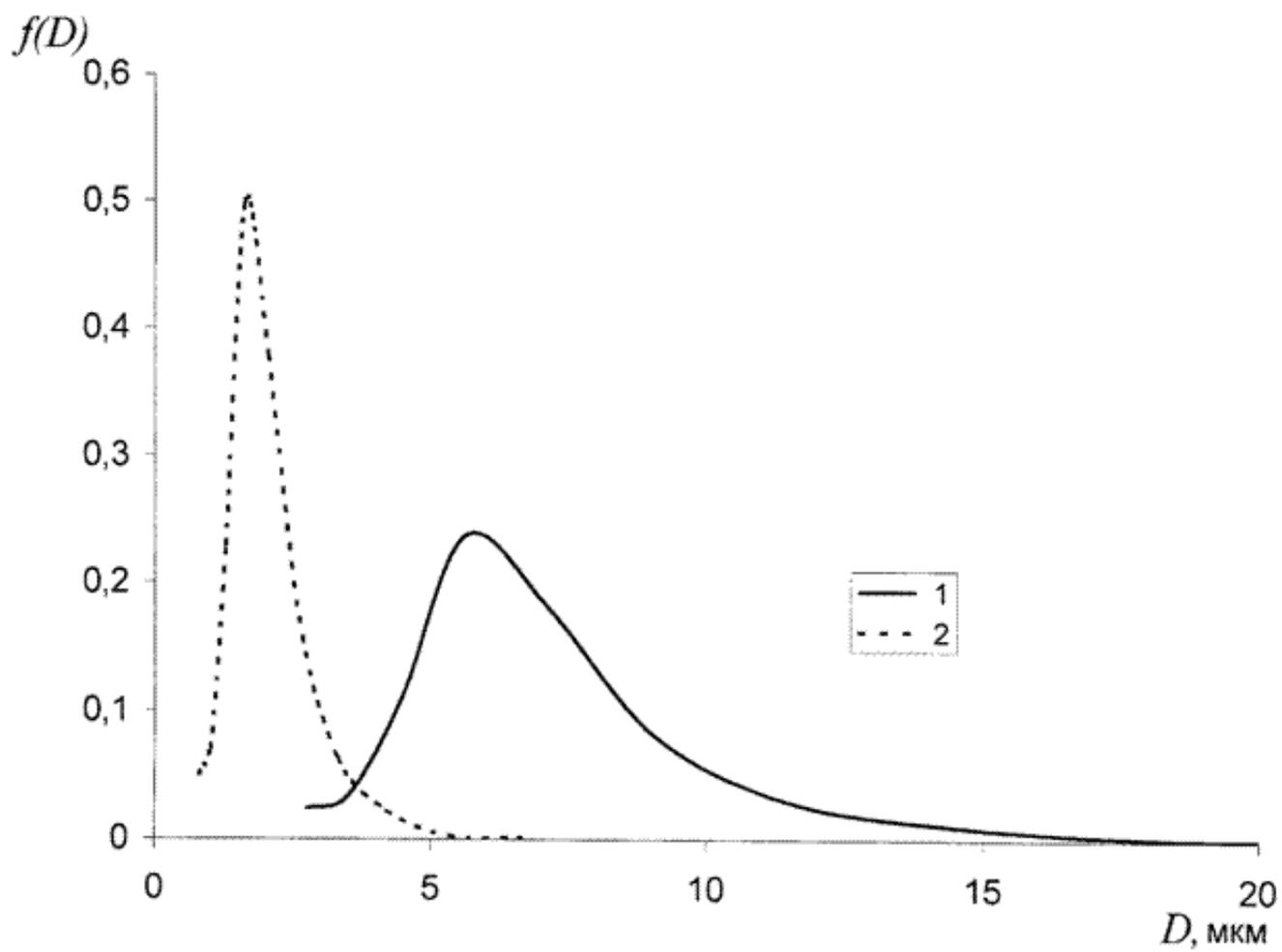
Фиг. 1

Аэрозольная камера

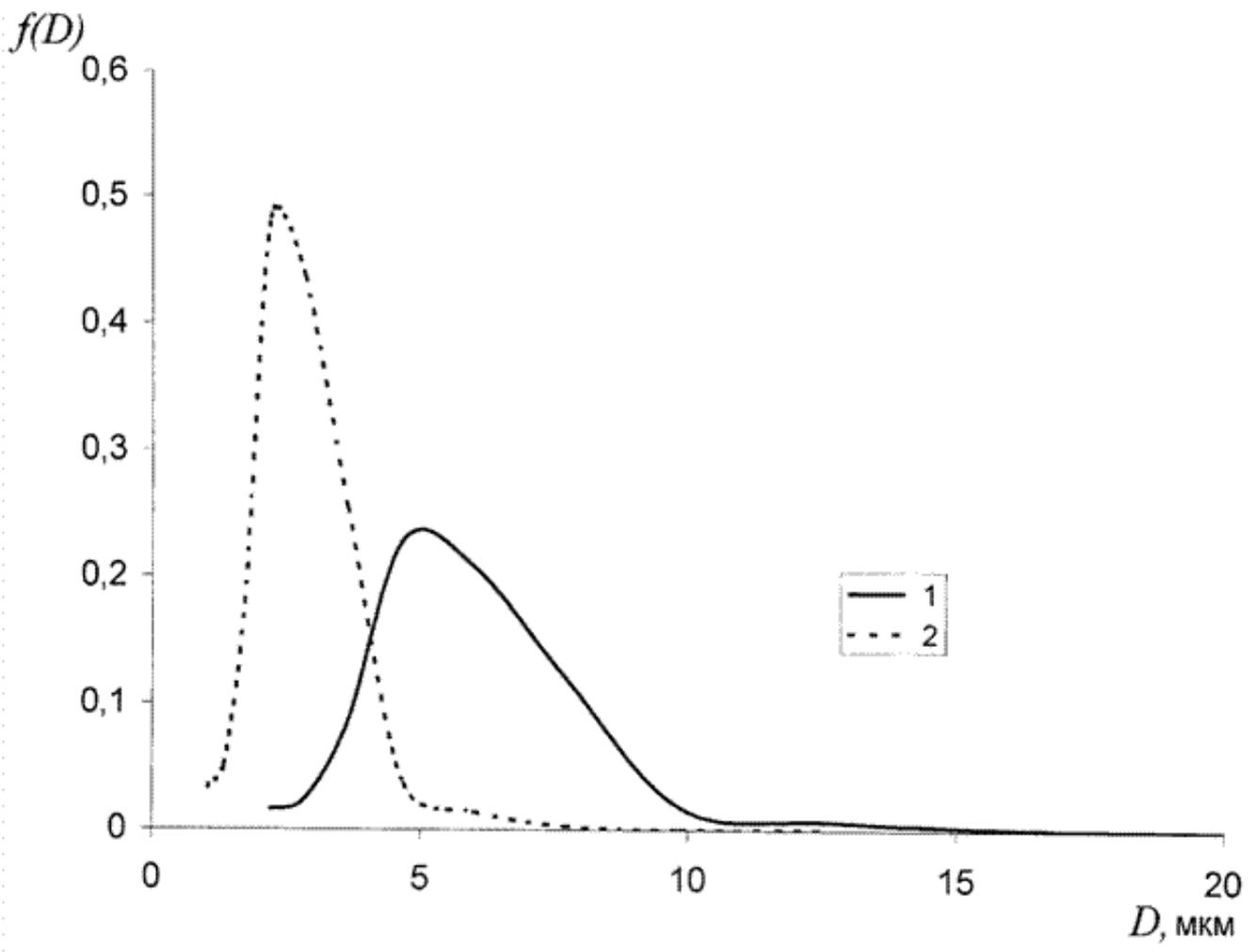
Электрофильтр



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4