

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО АЭРОЗОЛЯ ЖИДКОСТИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СЛАБОИСПАРЯЕМОЙ ПРИМЕСИ

А. Н. Ишматов¹, Б. И. Ворожцов

Изучено влияние испарения на дисперсные характеристики аэрозоля, полученного методом взрывного диспергирования кавитированной жидкости. Рассмотрено влияние примеси соли. Представлены дисперсные характеристики аэрозоля после испарения и в момент образования. Приведено сравнение экспериментальных результатов с расчетными.

Ключевые слова: испарение капель аэрозоля, примесь, распределение капель по размерам.

Одной из основных актуальнейших проблем современности является экологическая проблема, связанная с прогрессирующей автомобилизацией, увеличением количества лесных пожаров, интенсификацией космической деятельности и т.д. Многие загрязняющие воздух вещества сначала находятся в аэрозольной форме или становятся аэрозолями после попадания в атмосферу. Примером перехода газа в жидкость служит кислотный дождь. В этом случае диоксид серы в воздухе превращается в серную кислоту.

Изучение аэрозолей затруднено хотя бы тем, что они ведут себя не так как воздух, в котором они взвешены. Свойства аэрозолей зависят от размера, формы и состава частиц.

Цель данной работы – изучение развития (генезиса) мелких частиц аэрозоля с учетом влияния неиспаряемой примеси на примере высокодисперсного водного аэрозоля.

Для создания аэрозоля использовался метод импульсного взрывного распыления жидкостей. Схема распылителя приведена на рис. 1.

Моделирование процесса диспергирования жидкости взрывным генератором [1] позволило рассчитать функцию распределения частиц, которая приведена на рис. 2. Экспериментальная кривая распределения частиц получена с использованием модифици-

¹ Учреждение Российской академии наук Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН (ИПХЭТ СО РАН), 659322, г. Бийск Алтайского края, ул. Социалистическая, 1; e-mail: ishmatoff@rambler.ru; admin@ipcet.ru



Рис. 1: Схема распылителя.

Рис. 2: Распределение частиц по размерам. 1 – расчетное распределение частиц, 2 – гамма-распределение, 3 – экспериментальное распределение.

рованного метода малоуглового рассеяния лазерного излучения [2]. С помощью данного метода можно производить бесконтактные измерения в объеме и на срезе факела распыла с частотой 20 кГц.

В условиях отсутствия посторонних примесей жидкость аэрозоли испаряется в соответствии с диффузионной теорией, согласно которой скорость испарения отдельной капли, в диапазоне размеров от 1 до 100 мкм, в неподвижном состоянии определяется уравнением [3]:

$$I = \frac{dm}{dt} = 4\pi RD \frac{(\rho_s - \rho_\infty)}{m_1}, \quad (1)$$

где m – масса капли радиуса R ; D – коэффициент диффузии паров жидкости в воздухе; ρ_s, ρ_∞ – плотности паров жидкости над каплей и в пространстве; m_1 – масса одной молекулы.

Отсюда изменение радиуса запишется выражением:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{D}{R \cdot \rho_{Lg}} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_\infty)}{m_1}, \quad (2)$$

где ρ_{Lg} – плотность жидкости.

Экспериментально было установлено, что в большинстве случаев аэрозольные частицы полностью не испаряются из-за присутствия посторонних примесей [4]. Плот-

ность паров ρ_s для растворов зависит от мольной доли η жидкости, которая зависит от времени процесса испарения, так как при изменении радиуса меняется концентрация растворенного вещества в капле [3]. Таким образом, вместо (2) имеем:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{D}{R \cdot \rho_{Lg}} \cdot \frac{(\eta(t) \cdot \rho_s - \rho_\infty)}{m_1}, \quad (3)$$

где

$$\eta(t) = \frac{1}{\left(\frac{C(t)}{M_*} + \frac{1 - C(t)}{M_{Lg}} \right)}, \quad (4)$$

M_{Lg} – молярная масса воды; C – концентрация примеси в растворе; M_* – молярная масса примеси.

Время прекращения испарения и конечный размер капель рассчитывались из условия: $\frac{dR}{dt} \rightarrow 0$. Результаты расчетов для водного раствора NaCl представлены в табл. 1. Следует отметить, что данные расчетов не отражают влияния процесса кристаллизации соли на физико-химическое и термодинамическое состояния капли.

Т а б л и ц а 1

Время полного испарения воды из капель 20% раствора соли

Начальный размер капель, мкм	100	50	40	30	20	15	10	5
Конечный размер, мкм	45	22	18	13	9	7	4	2
Время испарения, с	17	3.85	2.44	1.32	0.68	0.42	0.20	0.04

Проведенные расчеты влияния растворенных веществ на скорость испарения водных капель показали, что присутствие примеси может существенно влиять на испарение. Из анализа выражения (4) следует, что чем больше молярная масса растворенного вещества, тем существенней влияние на скорость испарения.

Выбор процентного содержания соли в растворе обусловлен удаленностью границы максимальной растворимости (37%) и адекватным уменьшением начальных размеров частиц аэрозоля, позволяющим с помощью имеющихся методов определения дисперсных характеристик оценить характеристики аэрозоля.

Образование аэрозоля, получаемого импульсным методом, имеет множество аспектов, обусловленных высокими скоростями выброса жидкости (до 300 м/с) и, как след-

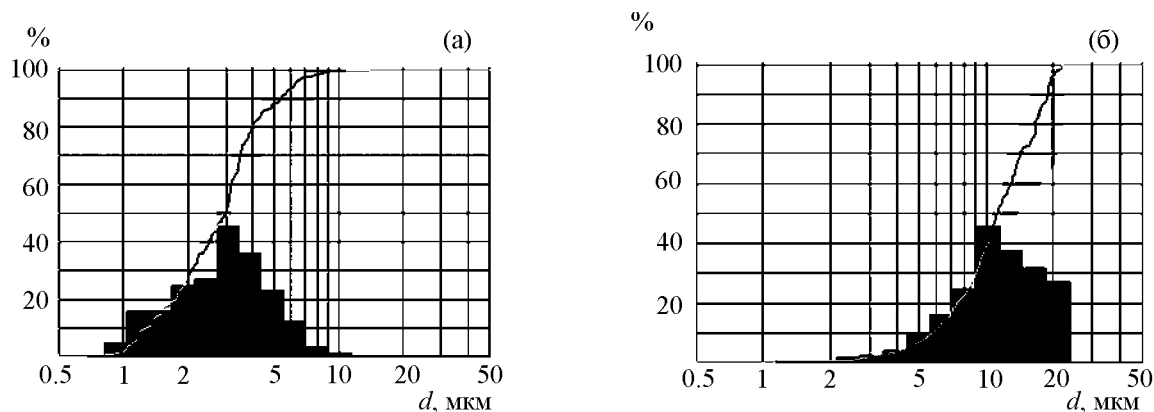


Рис. 3: Спектр массового распределения частиц аэрозоля; (а) – конечный аэрозоль (измерение), (б) – аэрозоль в момент образования (расчет).

ствие, высокой турбулентностью потока. Дробление происходит в результате воздействия аэродинамических сил при дополнительном влиянии расширяющихся газовых включений в жидкости. Проведенные измерения показали, что дисперсные характеристики аэрозоля на различных расстояниях от основания факела продолжают претерпевать изменения, поэтому оценка истинной (начальной) дисперсности проводилась на основе расчета, с использованием вышеизложенных выкладок, по результатам измерений размеров кристаллов соли конечного аэрозоля. На рис. 3 представлены гистограммы распределения частиц аэрозоля.

Таким образом, на примере водного аэрозоля было проведено изучение развития (генезиса) мелких частиц аэрозоля с учетом влияния неиспаряемой примеси и нестационарности процесса при испарении в нормальных условиях. На основе приведенных оценок рассчитана дисперсность аэрозоля, получаемого взрывным способом, в момент образования.

Следует понимать, что испарение является сложным процессом. Распыление даже чистой воды может привести к долгоживущему аэрозолю, поскольку известно, что адсорбция газов на поверхности капли может существенно влиять на испарение капель, в работе [5] указывается на аномально длительное время жизни микронных капель. Оценку данного явления на скорость испарения только предстоит провести.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Б. И. Ворожцов, В. А. Архипов, О. Б. Кудряшова, Известия вузов: Физика **51**(8/2), 107 (2008).
- [2] И. Р. Ахмадеев, Автореф. дис. канд. тех. наук (АлтГТУ, Бийск, 2008).
- [3] Н. А. Фукс, *Испарение и рост капель в газообразной среде* (М., Мир, 1986).
- [4] К. Спурный, Ч. Нех, Б. Седлачек и др., *Аэрозоли* (М., Атомиздат, 1964).
- [5] А. Г. Ситников, Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.13 (ИСЭ СО РАН, Томск, 2006).

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 13 ноября 2009 г.