

УДК 541.182

ИССЛЕДОВАНИЯ УКРУПНЕНИЯ ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЕЙ В ТУРБУЛЕНТНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКАХ

Садырбаева А.С., Ескендилов М.З., Усипбаев У.А., Асылбек Н.У., Асылбек Г.У.
Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова (160012, РК,
г.Шымкент, пр. Тауке-хана, 5), e-mail a.sadyrbaeva@mail.ru

Аэрозольные частицы в атмосфере имеют широкий диапазон размеров, так как к ним относятся как частицы, состоящие из нескольких молекул (кластеры), имеющие диаметр порядка 1 нм, так и крупные пылинки, витающие в воздухе, диаметром в несколько десятков микрон (104 нм). Точно определить наибольшие размеры аэрозольных частиц сложно, так как в разных условиях частицы одного и того же размера могут выпадать из атмосферы, а могут и довольно длительное время находиться взвешенными в воздухе.

Эффективность процесса коагуляции, т.е. соединения частиц при их столкновениях, определяется произведением вероятности столкновения на вероятность их слипания слияния. Механизм коагуляции сложен. Различные физические процессы эффективно способствуют или препятствуют коагуляции аэрозольных частиц разных размеров. Основные из них: броуновские коагуляция и диффузия, конвективная броуновская диффузия, инерционное осаждение, гравитационная коагуляция, турбулентная коагуляция, термо- и бародиффузия, электростатическая коагуляция и т.д.[1-3]. В статье рассматривается укрупнение аэрозольных частиц за счет термо- и бародиффузии.

Ключевые слова: очистка газа, улавливание аэрозолей, турбулентный поток, диффузия.

STUDY OF PARTICLE AGGLOMERATION OF AEROSOLS IN TURBULENT TWO-PHASE FLOWS

Sadyrbaev A.S., Yeskendirov M.Z., Usupbaev W.A., Assylbek N.U., Assylbek G.U.
The southern Kazakhstan state university of M. Auezov (160012, RK, Shymkent, Tauke-hana
Ave., 5), e-mail a.sadyrbaeva@mail.ru

Aerosol particles in the atmosphere have a wide range of sizes, as they are treated as particles, consisting of several molecules (clusters) having a diameter of about 1 nm, and large dust particles floating in the air, with a diameter of several tens of microns (104 nm). To accurately determine the largest size of aerosol particles is difficult, as different conditions of particles of the same size can fall out of the atmosphere, but can quite a long time to be suspended in the air.

The efficiency of the coagulation process, ie the connection of the particles when they collide is determined by the product of the probability of collision the probability of their sticking together of the merger. The mechanism of coagulation is complex. Various physical processes to effectively help or hinder the coagulation of aerosol particles of different sizes. The main ones are: Brownian coagulation and diffusion, convective Brownian

diffusion, inertial deposition, and gravitational coagulation, turbulent coagulation, thermal and barodiffusion, electrostatic coagulation, etc [1-3]. The article discusses the escalation of aerosol particles due to thermal and barodiffusion.

Key words: gas purification, trapping aerosols, turbulent flow, diffusion.

Исследования процесса коагуляции аэрозольных частиц проводили в турбулентных аэрозольных потоках при их течении через слой регулярно размещенных турбулизирующих цилиндрических элементов (диаметром $d_{ц}$), установленных в плоскопараллельном канале (с шагом $t_с$). Т.е. в потоках, где реализовывался синфазный режим вихреобразования, предопределяющий экстремальные значения гидродинамических и тепломассообменных характеристик потока.

Интенсивность процесса коагуляционного роста частиц аэрозоля, осложненного процессом их параллельного конденсационного укрупнения, по своему значению превышает интенсивность "чистой" коагуляции. При этом увлажнение пылей при конденсации пара на частицах значительно повышает эффективность межчастичных столкновений за счет увеличения слипаемости пылей. Даже для гидрофобных пылей, плохо впитывающих влагу, эффективность межчастичных столкновений увеличивается за счет образования конденсатной пленки на частицах.

Изменение дисперсности частиц жидкостных аэрозолей (рисунок 1) в зависимости от характера распределения по размерам происходит неравномерно. Так, при скорости парогазового потока $W_{г} = 15$ м/с мелкие фракции (нижний предел распределения) увеличиваются: фосфорной кислоты (рисунок 1 «а») в 1,7 раза; глицерина (рисунок 1 «б») в 1,6 раза.

Для крупных же фракций (верхний предел распределения) кратность увеличения снижается и составляет соответственно: 1,25; 1,35. Такой характер изменения дисперсности капель туманов объясняется вихревым течением парогазового потока.

Коагуляция смещает линии дисперсного состава вправо за счет убыли счетной концентрации капель мелких фракций. Вихревое же течение потока, а точнее его скорость определяет фракционное содержание капель в каждом единичном вихре и степень снижения локальной температуры газа в ядре и поле вихря.

Увеличение скорости потока ведет к росту циркуляционной скорости вихря. Это приводит к падению локальной температуры и уменьшению численной концентрации крупных фракций в вихре, которые за счет центробежных сил уносятся в сплошной поток. Снижение температуры способствует интенсификации процесса конденсационного роста капель, находящихся в вихревом потоке.

Таким образом, вышеописанный механизм способствует эффективному росту размеров

частиц (капель) мелких фракций. Положительным аспектом этого явления является целенаправленное использование пара при укрупнении частиц аэрозоля с широкими пределами распределения размеров, и аэрозолей с высоким процентным содержанием высокодисперсных фракций. Этот факт может значительно повысить технико-экономические показатели очистного аппарата в целом.

Характер изменения дисперсности частиц исследованных пылей идентичен характеру изменения дисперсности жидкостных аэрозолей.

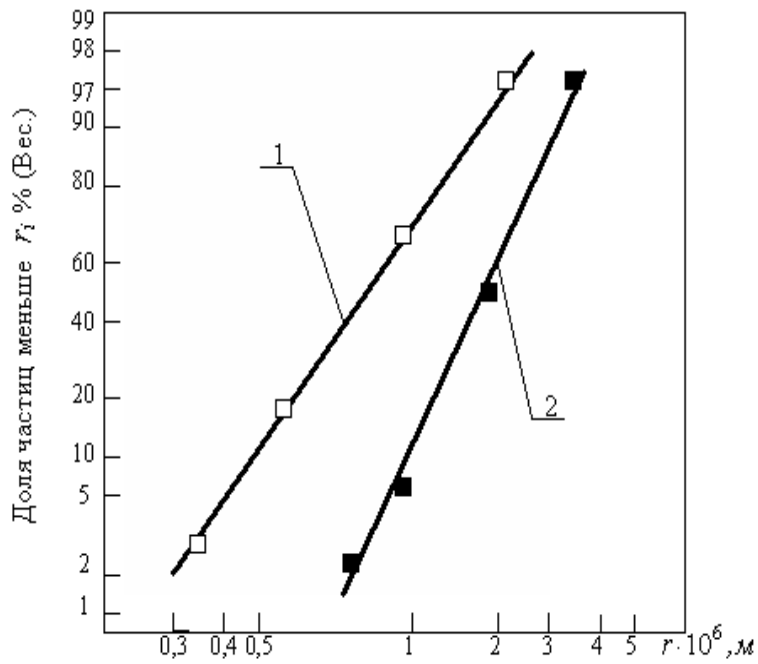
Как отмечалось в работе [4], процесс коагуляции плохо – и средне-смачиваемых пылей в исследованных диапазонах скорости газового потока отсутствует. Хотя однозначно можно утверждать, что столкновения частиц происходят, но эффективность их слипания ничтожно мала.

Совсем другая картина происходит при подаче водяного пара в зону коагуляции. Скорость агломерации для хорошосмачиваемой пыли известняка в исследованных диапазонах скорости газа даже превышает скорость коагуляции туманов за счет большей полидисперсности и плотности материала. Скорость агломерации частиц пылей кварца и кокса так же повышается за счет частичного увлажнения и образования конденсатной пленки на поверхности частиц. На рисунке 2, на примере пыли кварца представлен ее дисперсный состав до и после укрупнения. Как видно из рисунка коагуляция смещает, как и в случае с жидкостными аэрозолями, линии дисперсного состава вправо за счет убыли счетной концентрации частиц мелких фракций с кратностью увеличения среднемедианного диаметра частиц 1,66. Характер изменения дисперсного состава хорошосмачиваемой (известняк) и плохосмачиваемой (кокс) пылей аналогичен вышерассмотренному случаю, с кратностью увеличения среднемедианного размера частиц 1,75 и 1,3 соответственно.

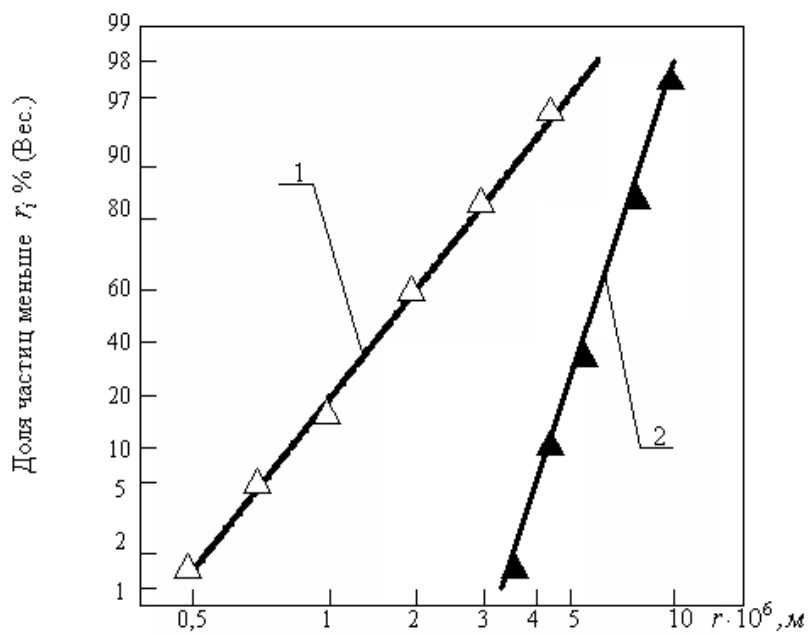
В зависимости от скорости парогазового потока относительно быстрый рост медианного радиуса частиц происходит вплоть до скоростей 10÷15 м/с. Затем увеличение размеров частиц замедляется. Такая закономерность объясняется тем, что интенсивный рост размеров капель приводит к уменьшению степени полидисперсности, т.е. аэрозольная система стремится к моноструктуре. Последнее обстоятельство резко замедляет скорость турбулентной коагуляции, а значит и весь процесс укрупнения в совокупности.

Повышение концентрации водяного пара в парогазовом потоке ведет к увеличению медианного радиуса частиц. Однако, при достижении концентрации пара свыше 30 мг/м³ эффективность роста размеров частиц значительно падает.

а)



б)



$$W_T = 15 \text{ м/с}, t_c = 2 \text{ д}, T_T = 313^{\circ}\text{К}, T_n = 378^{\circ}\text{К};$$

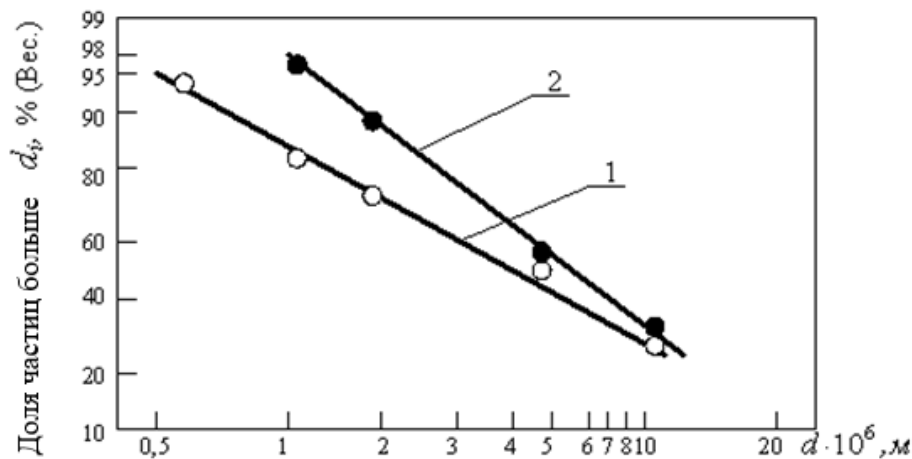
а) H_3PO_4 ; 1 – до укрупнения, $\alpha = 0,36$; 2 – после укрупнения, $\alpha = 0,20$;

$$C_e = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3, C_n = 0,056 \text{ кг/м}^3;$$

б) $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$; 1 – до укрупнения, $\alpha = 0,62$; 2 – после укрупнения, $\alpha = 0,18$;

$$C_e = 0,87 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3, C_n = 0,044 \text{ кг/м}^3;$$

Рисунок 1 - Дисперсный состав жидкостных аэрозолей до и после коагуляционно-конденсационного укрупнения.



1 – до укрупнения, $\alpha = 0,72$; 2 – после укрупнения, $\alpha = 0,65$.

$C_r = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$, $C_n = 0,056 \text{ кг/м}^3$, $W_r = 15 \text{ м/с}$, $t_e = 2d_u$, $T_r = 313^0\text{К}$, $T_n = 378^0\text{К}$;

Рисунок 2 – Дисперсный состав пыли кварца до и после коагуляционно-конденсационного укрупнения.

Объяснением такой зависимости является то, что с повышением концентрации пара температура парогазового потока увеличивается и, следовательно, снижается величина пересыщения пара. Это в свою очередь ведет к гомогенной конденсации пара, т.е. пар расходуется бесполезно, т.к. в укрупнении частиц аэрозоля не участвует. Предпочтительные значения концентрации пара составляли в диапазоне $30 \div 60 \text{ г/нм}^3$ при изменении весовой концентрации аэрозоля $2 \div 10 \text{ г/нм}^3$.

Известно [5], что аэрозольные частицы в турбулентном потоке увлекаются турбулентными пульсациями. Однако, скорости пульсаций газового (парогазового) потока и частиц аэрозоля различны, вследствие чего к поверхности частиц дополнительно переносится пар с помощью турбулентной диффузии. Из этого следует, что общий коэффициент диффузии имеет более высокое значение, чем в спокойной среде.

Для достаточно мелких частиц, полностью увлекающихся пульсациями турбулентного потока, влияние пульсаций на общий коэффициент диффузии незначительно. Однако, согласно [6,7] для частиц с диаметром $d_p > 1 \text{ мкм}$ в интенсивных турбулентных потоках фактор турбулентного переноса пара приобретает существенное значение.

Литература:

1. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. М., Мир, 1987. – 278 с.
2. Волощук В.М. Кинетическая теория коагуляции. Л., Гидрометеиздат, 1984. – 284 с.
3. Волощук В.М., Седунов Ю.С. Процессы коагуляции в дисперсных системах. Л., Гидрометеиздат, 1975. – 320 с.
4. Ескендилов М.З. Исследование процесса коагуляционного укрупнения частиц аэрозоля в турбулентных потоках организованной вихревой структуры // Наука и образование Южного Казахстана. - №33. - 2004. - Шымкент. – С. 36-39.
5. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. – М.: Наука, 1980. – 176 с.
6. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: Физматгиз, 1959. – 700 с.
7. Амелин А. Г. Образование пересыщенного пара в процессе конденсации его на поверхности // Журн. техн. Физики. – 1949. – т. 19, №10. – С.1136-1338.