

УДК 541.182

## **ИССЛЕДОВАНИЯ УЛАВЛИВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ В ТУРБУЛЕНТНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКАХ**

**Ескендиоров М.З., Садырбаева А.С., Туребекова А.М., Возжаева Н.С.**

**Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова (160012, РК, г.Шымкент, пр. Тауке-хана, 5), e-mail [a.sadyrbaeva@mail.ru](mailto:a.sadyrbaeva@mail.ru)**

Процессы осаждения аэрозолей из технологических потоков газов лежат в основе многих технологий – химической, нефтехимической, лакокрасочной, коксохимической, нефтяной, газовой, пищевой и др. Так при производстве различных продуктов образуются промышленные газы, содержащие аэрозоли различной природы происхождения – полидисперсные твердые частицы (пыль, дым) или жидкие частицы (туман), от которых газы должны быть очищены.

Высокая эффективность и интенсивность, простота конструкции и универсальность, а также эксплуатационная надежность являются основными требованиями, предъявляемыми к системам очистки газов от аэрозолей.

Результативность решения вопросов по эффективному улавливанию аэрозолей различной природы происхождения в практически любом аэрозолеуловителе зависит от дисперсности частиц, который обуславливает особенности физических законов поведения аэрозолей, а также выбор способов и аппаратов, применяемых для улавливания аэрозолей [1,5].

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

## **STUDIES OF TRAPPING OF AEROSOLS IN TURBULENT TWO-PHASE FLOWS**

**Yeskendirov M.Z., Sadyrbaev AS., Turebekova A.M., Vozzhaeva N.S.**

**The southern Kazakhstan state university of M. Auezov (160012, RK, Shymkent, Tauke-hana Ave., 5) , e-mail [a.sadyrbaeva@mail.ru](mailto:a.sadyrbaeva@mail.ru)**

The deposition of aerosols from process gas streams are the basis of many technologies in the chemical, petrochemical, paint, coke, oil, gas, food etc. So in the production of various formed products industrial gases containing aerosols of different nature of origin is a polydisperse solid particles (dust, smoke) or liquid particles (fog), from which the gases have to be cleaned.

High efficiency and intensity, simplicity of design and versatility, and operational reliability are the main requirements to systems of purification of gases from aerosols.

The performance issues are the effective capture of aerosols of different nature of origin, in almost any aerosolesoutlet depends on the dispersion of particles, which determine the peculiarities of the physical laws of the behavior of aerosols, as well as the choice of methods and apparatus used for trapping aerosols [1,5].

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

Высокая оптическая плотность высокодисперсных аэрозольных выбросов и большая суммарная площадь поверхности содержащихся в них частиц обуславливают их

биологическую вредность. Это, в свою очередь, предопределяет важность улавливания возможно большего количества высокодисперсных частиц. Однако это именно та фракционная область размеров частиц аэрозолей, где большинство аэрозолеуловителей имеют низкую эффективность, хотя в фильтрационных аппаратах эта проблема нашла свое решение с рядом известных недостатков: высокое гидравлическое сопротивление, необходимость регенерации фильтрующих элементов и т.д.

Эксплуатационная надежность многих аппаратов зависит от слипаемости частиц и их абразивности, начальной запыленности газов и их агрессивности.

К одним из самых простых и эффективных методов очистки промышленных газов от взвешенных частиц, удовлетворяющих вышеуказанным требованиям, относится «мокрый» способ очистки [7].

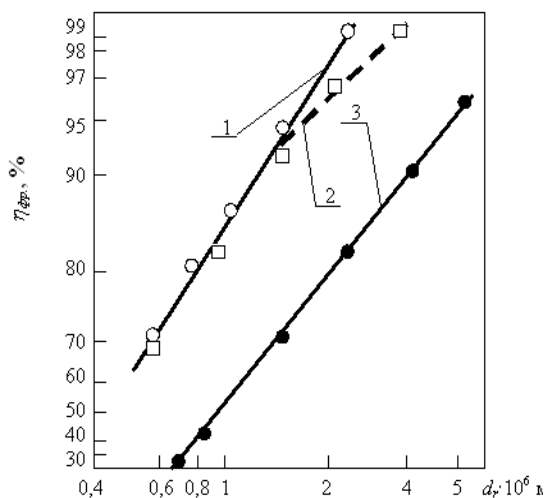
Влияние дисперсности и физико-химических свойств различных пылей на фракционную и общую эффективность противоточных аппаратов с подвижной насадкой и прямоточного аппарата с циркулирующей насадкой подробно приведены в работах [6,8]. Исследования улавливания пылей в аппаратах с регулярной подвижной насадкой (РПН) с прямоточным взаимодействием фаз немногочисленны. Так в работе [4] даны только зависимости общей эффективности осаждения от скорости газа и плотности орошения в зависимости от способа орошения – форсуночного или эжекционного. Исследования же эффективности осаждения туманов относятся, в основном, к насадочным аппаратам с кольцами Рашига [3] и скрубберам Вентури [2]. Осаждение туманов в восходящем прямоточном режиме исследовано нами в [4].

Сопоставительные исследования (рисунок 1) по фракционной эффективности улавливания тумана ортофосфорной кислоты в слое пластинчатой насадки и в насадке из колец Рашига [3], работающей в режиме эмульгирования, показали, что степень очистки, отнесенная к медианному размеру частиц, в 1,5 раза выше у аппарата с регулярно расположенными турбулизирующими элементами пластинчатой формы (ТЭПФ).

Анализ результатов исследований по улавливанию туманов (рисунок 2) и пылей (рисунок 3) в слое с (ТЭПФ) подтверждает общую закономерность для аэрозолей о значительном влиянии дисперсности и плотности частиц (капель) на фракционную, а, следовательно, и на общую эффективность улавливания.

Из представленной зависимости видно, что приведенная масса частиц оказывает заметное влияние на эффективность осаждения для достаточно крупных частиц тумана ( $d_p > 1$  мкм). Для частиц же, радиус которых меньше 0,3 мкм это влияние нивелируется. Такая закономерность указывает на превалирующую роль сил инерции на процесс осаждения для

частиц радиусом выше 2 мкм. Меньшие частицы осаждаются, главным образом, за счет механизма турбулентной диффузии.



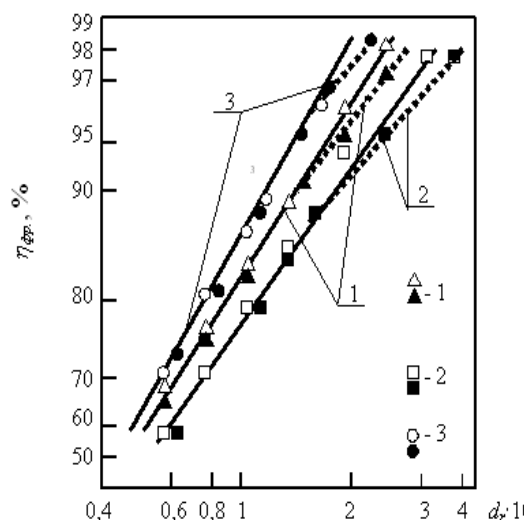
1 – восходящий прямоток, 2 – нисходящий прямоток;

$W_{\Gamma} = 12$  м/с,  $L = 25$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч,  $H_{н.с.} = 1$  м,

$t_e = 2b$ ,  $t_{\Gamma} = 2b$ .

3 – колонна с кольцами Рашига, данные.

Рисунок 1 – Зависимость фракционной степени осаждения тумана  $H_3PO_4$  от диаметра частиц.



1 – туман  $H_3PO_4$ , 2 – туман  $H_2SO_4$ , 3 – глицериновый аэрозоль;

$W_{\Gamma} = 12$  м/с,  $L = 25$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч,  $H_{н.с.} = 1$  м,  $t_e = 2b$ ,  $t_{\Gamma} = 2b$ .

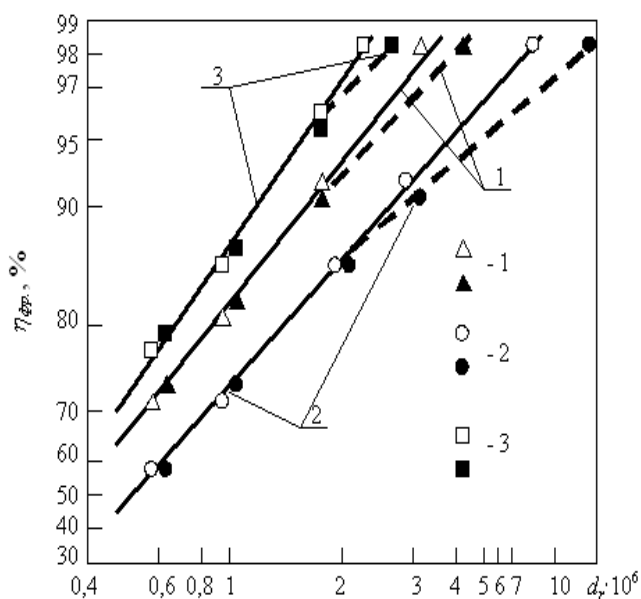
Линии прямотоков: сплошная – восходящий, пунктирная – нисходящий;

Рисунок 2 – Зависимость фракционной степени осаждения туманов от диаметра частиц.

Здесь надо отметить, что фракционная эффективность улавливания туманов глицерина и ортофосфорной кислоты при практически равной плотности имеет небольшое различие. Причем, это наблюдается для самых крупных фракций туманов. Такое различие объясняется, по-видимому, различной растворимостью этих веществ в воде. Для пылей, при проведении аналогичных исследований с пылями кокса, кварца и известняка в диапазоне изменения дисперсности 0÷10 мкм, так же наблюдается влияние растворимости. При одинаковой плотности материала кварца и известняка эффективность осаждения хорошо растворимой и гигроскопичной известковой пыли выше.

Изменение вектора направленности взаимодействующих потоков с восходящего на нисходящее при равных прочих условиях не оказывает какого-либо заметного влияния на эффективность осаждения высокодисперсных фракций. Только начиная с частиц, размер

которых больше 2 мкм эффективность осаждения при восходящем потоке становится выше (рисунок 2 и 3, сплошная линия), чем при нисходящем (пунктирная линия). Это объясняется различием в величинах относительных скоростей частиц и струйно-капельных образований улавливающей жидкости при скоростях газа  $W_{\Gamma} < 12$  м/с, т.е. при скоростных режимах, когда еще сказывается влияние силы тяжести. При восходящем потоке разность относительных скоростей больше, чем при нисходящем.



1 – кварц, 2 – кокс, 3 – известняк;

$$W_{\Gamma} = 12 \text{ м/с}, L = 25 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}, H_{н.с.} = 1 \text{ м}, t_{\theta} = 2b, t_{\Gamma} = 2b.$$

Линии потоков: сплошная – восходящий, пунктирная – нисходящий;

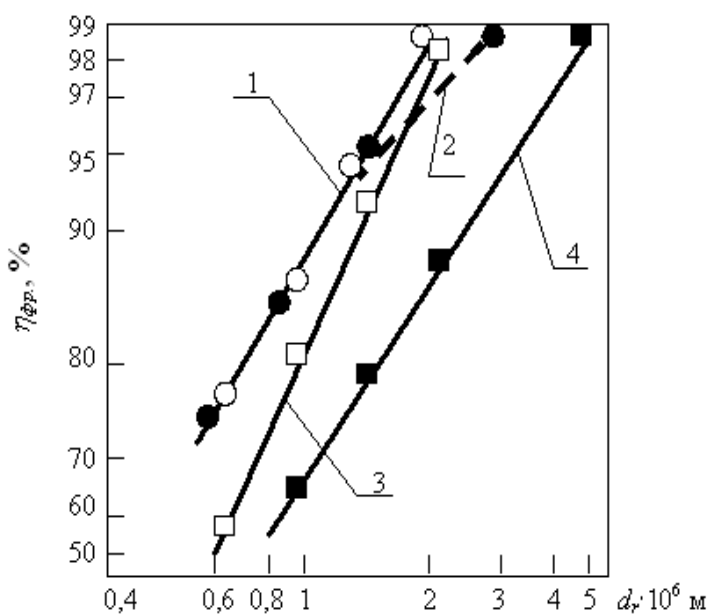
Рисунок 3 – Зависимость фракционной степени осаждения пылей от диаметра частиц.

На рисунке 4 представлен сопоставительный график зависимостей фракционной степени улавливания кварцевой пыли от диаметра частиц для решеток регулярно подвижных насадков (РРПН) в условиях восходящего и нисходящего потока при скорости газа 15 м/с, для аппарата ЦН (циркулирующей насадкой) при  $W_{\Gamma} = 7$  м/с [8] и для противоточного РПН [8].

Увеличение скорости газа влечет за собой постоянный рост степени улавливания, хотя условное время пребывания частиц аэрозоля в контактной зоне уменьшается. Следовательно, причиной роста эффективности является как возрастание инерционных различий между частицами крупных фракций и структурными образованиями орошающей жидкости (каплями, струями, пленками), так и увеличение коэффициента турбулентной диффузии высокодисперсных частиц ( $d_p < 1$  мкм), величина которой определяется пульсационной

скоростью, и соответственно, скоростью газа. С другой стороны, фактором увеличения эффективности улавливания частиц размером  $d_r < 1$  мкм, несомненно, является рост поверхности контакта.

Полученные результаты, как качественно, так и количественно подтверждают теоретические представления о механизме и закономерностях осаждения мелких фракций, для которых толщина пограничного слоя существенно влияет на подвод частиц к поверхности осаждения.



$$W_{\Gamma} = 15 \text{ м/с}, L = 25 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}, C_{\Gamma} = 0,01 \text{ кг/м}^3;$$

1 – восходящий прямоток; 2 – нисходящий прямоток;

3, 4– данные для ЦН и противоточного РРПН соответственно;

Рисунок 4 – Сопоставительные данные по фракционной степени осаждения кварцевой пыли от диаметра частиц.

С повышением скорости газа выше 15 м/с рост эффективности для различных фракций неравномерен. Так, для мелких фракций ( $d_r < 1$  мкм) приращение эффективности уменьшается с уменьшением дисперсности частиц, а по мере увеличения размеров частиц степень очистки заметно растет. Этот факт указывает на неоднозначное влияние механизмов турбулентной диффузии и инерционного столкновения на улавливание частиц различной дисперсности в режимах с повышенными скоростями ( $W_{\Gamma} \geq 15$  м/с). Такое неадекватное влияние механизмов осаждения позволяет утверждать, что с точки зрения технико-экономических показателей аппарата при улавливании частиц тумана дисперсностью  $d_r < 0,6$  мкм повышение скорости  $W_{\Gamma} > 15$  м/с нецелесообразно.

Зависимость фракционной эффективности аппарата ЦН (линия 3) при рабочей скорости 7 м/с показывает, что в области высокодисперсных фракций эффект турбулентной диффузии реализуется не в полной мере, хотя энергозатраты выше почти в три раза ( $\Delta P_{\text{ЦН}} = 4,5$  КПа). Это свидетельствует о высоком значении коэффициента полезного действия исследуемого типа насадки.

#### Литература:

1. Seinfeld J.H., Pandis N.S. Atmospheric Chemistry and Physics/John Wiley & Sons Inc. – New York: Chichester Weinheim Brisbane Singapore Toronto, 1998. – 356 p.2
2. Аэров В.Г., Гордон Г.М., Пономарев В.Д. Некоторые вопросы улавливания высокодисперсных пылей в скоростных турбулентных пылеуловителях // Сб. научн.труд. – М.: ГИНЦВЕТМЕТ, 1966, №24. - С. 299-393.8
3. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии. - М.: Металлургия, 1977. - 456 с.7
4. Ескендиоров М.З. Коагуляция и осаждение туманов в прямоточном аппарате с регулярным расположением турбулизирующих элементов: дис. ... канд. техн. наук. - Шымкент, 1991. - 218 с.6
5. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. /Пер. с англ. Под ред. Б. Ф. Садовского. – М.: Мир, 1987. – 280 с.1
6. Сабырханов Д.С. Разработка, расчет и внедрение массообменных и пылеулавливающих аппаратов с подвижной и регулярной насадкой: автореф. ... д-ра. техн. наук. - Шымкент, 1996. - 30 с.5
7. Страус В. Промышленная очистка газов. – М.: Металлургия, 1968. – 616 с.3
8. Шарыгин М.П. Закономерности осаждения пыли в слое подвижной насадки и разработка интенсивных пылеуловителей: дис. ... канд. техн. наук. - Иваново, 1982. - 300 с.4