

УДК 697.98

Приемов С.И.

Институт технической теплофизики НАН Украины

К ОЦЕНКЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЕЙ ПО РАЗМЕРАМ В «УНОСЕ» ИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СКРУББЕРОВ

Показано, що після очищення газів у механічних скрубберах розподілення частинок пилу за розмірами в «уносі» описується розподілом, а визначаючими механізмами вловлювання являються: спільна дія конвективної дифузії та інерції (для фракцій діаметром менш 5 мкм); спектр же більш великих частинок утворюється за рахунок дії інерційного механізму осадження.

Показано, что после очистки газов в механических скрубберах распределение частиц аэрозолей по размерам в «уносе» удовлетворительно описывается гамма-распределением, а определяющими механизмами улавливания являются: совместное действие конвективной диффузии и инерции (для фракций диаметром менее 5 мкм); спектр же более крупных частиц образуется за счет действия инерционного механизма осаднения.

It is shown that after cleaning gas flows in mechanical scrubbers particles distribution of aerosols by dimensions in fly-ashes is satisfactorily described by the gamma distribution, and main catching mechanisms are: common effect of convection diffusion and inertia (for factions with diameter below 5 micron); spectrum of bigger particles is formed because of the effect of inertial precipitation.

$D_{\max} = \frac{(m_i - m_i^1)}{N}$ – величина максимального

отклонения распределений частиц аэрозолей эмпирического от теоретического;

$P(\lambda)$ – вероятность того, что гипотетическая функция (гамма-распределение) выбрана правильно;

$H(\delta)$ – относительное число в выборке частиц диаметром меньше δ ;

m_i – экспериментальные функции распределения числа частиц по размерам;

m_i^1 – теоретические функции гамма-распределения числа частиц по размерам;

N – объем выборки;

$n_{\alpha, \beta(\delta)}$ – плотность гамма-распределения:

α, β – определяемые в эксперименте параметры гамма-распределения;

δ – диаметр частиц;

δ_{50} – медианный (средний) диаметр частиц;

γ_{α} – гамма-функция с индексом;

λ – критерий согласия Колмогорова, равный $D_{\max} \sqrt{N}$;

МПД – механический скруббер с дисковым распылителем жидкости;

МПВ – механический скруббер с веерным распылителем жидкости;

$Stk; Stk_{кр}$ – соответственно безразмерный комплекс Стокса и его критическое значение.

Процессы улавливания частиц аэрозолей каплями распыленной жидкости в турбулизованных газовых потоках мокрых пылеуловителей с капельным орошением самым тесным образом связаны с теорией осаднения частиц аэрозолей из потока на препятствие, традиционно развивающейся в двух самостоятельных направлениях – исследования инерционного и диффузионного механизмов осаднения [1].

Механизм конвективной диффузии опреде-

ляет осаднение мелких частиц из потока на препятствие (каплю), инерционный механизм – осаднение крупных частиц.

В реальных процессах очистки газовых потоков при реализации их в скрубберах существуют и практически весьма важные ситуации, когда оба механизма осаднения действуют одновременно. Например, при вымывании аэрозольной примеси в случаях, когда безразмерное число Стокса (Stk), характеризующее процесс,

близко к критическому значению ($Stk_{кр}$); при этом зачастую складываются эффекты обоих механизмов осаждения, считая что они действуют независимо [2]; при $Stk < Stk_{кр}$ влиянием инерционных эффектов на осаждение пренебрегают. Естественно, что расчеты по каждому из этих механизмов существенно различаются между собой и недоучет этого зачастую приводит авторов к значительному расхождению расчетных и экспериментальных данных эффективности очистки [3].

Адекватное математическое описание процессов переноса аэрозолей примесей (частиц пыли) на поглощающие капли жидкости возможно только при условии верного представления о механизме данного явления как это, например, получено при объяснении закономерностей взаимодействия частиц пыли с каплями осадков в физике атмосферы [4,5,10]. Так, применительно к динамике формирования спектра размеров частиц атмосферного аэрозоля, образующегося в результате его промывки каплями атмосферных осадков, в работах В.И. Смирнова, А.А. Лушникова установлена правомерность суждения о коагуляционном механизме улавливания частиц аэрозоля каплями жидкости. При этом основным выводом этих работ является тот факт, что в процессе стационарной коагуляции возникают степенные спектры ($\varphi_n(\delta) \approx \delta^{-k}$), удовлетворительно описываемые гамма-распределением, плотность которых выражается формулой:

$$n_{\alpha,\beta}(\delta) \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha+1)\beta^{\alpha+1}} \delta^\alpha \exp\left(-\frac{\delta}{\beta}\right) & \text{при } \delta \geq 0 \\ 0 & \text{при } \delta \leq 0. \end{cases} \quad (1)$$

Целью настоящей работы является проверка гипотезы о том, что функции распределения частиц по размерам в аэрозоле, прошедшем зону промывки (то есть в "проскоке" пыли после механических скрубберов), представляют из себя степенные функции и потому удовлетворительно могут быть также описаны гамма-функцией, что позволит установить какой из двух механизмов осаждения в отдельности

или совместно являются определяющими для очистки в механических скрубберах.

Проверку проводим, по аналогии с работой [6], с помощью выпрямления накопленной диаграммы распределения частиц пыли в "проскоке" после мокрых пылеуловителей с вращающимися распылителями жидкости, то есть выполним анализ экспериментальных распределений частиц пыли по размерам в "проскоке" через пылеуловители. Для этого на оси абсцисс откладывается диаметр частиц (δ), а по оси ординат $H(\delta) = \gamma^{-1}(\delta)$, ($\alpha = 0$). Если при этом $H(\delta)$ близко к плотности функции распределения (накопленной функции):

$$P_{\alpha,\beta}(\delta) = \gamma_\alpha\left(\frac{\delta}{\beta}\right), \quad (2)$$

где $\gamma_\alpha(z) = \int_0^z \frac{t^\alpha}{\Gamma(\alpha+1)} \exp(-t) dt$ – неполная

гамма-функция с индексом α , то в указанных координатах получится прямая линия, проходящая через начало координат.

В таблице приведены некоторые характерные данные испытаний дисперсного состава "проскока" через механические скрубберы [7], полученные с помощью микроскопии фильтров типа "АФА" по методике [8].

Из анализа данных таблицы по приведенной выше методике следует, что распределение числа частиц в «проскоке» через пылеуловители с вращающимися распылителями удовлетворительно аппроксимируются гамма-распределением с индексом $\alpha = 0$ и $\beta = 1 \dots 2,5$. При этом необходимо подчеркнуть, что нормированные функции распределения массы (объема) частиц по диаметрам также аппроксимируются гамма-распределением с индексом $\alpha = 3$.

Для более объективного суждения о справедливости гипотезы подчинения дисперсного состава «проскока» пыли гамма-распределению воспользуемся применением критерия согласия Колмогорова « λ », который является наилучшим в условиях, если известны теоретические значения параметров для гамма-распределения.

В таблице приведены данные по проверке соответствия эмпирических функций распре-

Таблица. Проверка гипотезы соответствия эмпирических распределений числа частиц пыли по размерам в «проскоке» теоретическому гамма-распределению

№ скруббера	Частоты, %	$\delta < 1,5$, мкм	$\delta < 3,3$, мкм	$\delta < 5,2$, мкм	$\delta < 7$, мкм	$\delta < 10$, мкм	$\delta < 15$, мкм
1	m	86,2	99,72	99,82	100	100	100
1	m^l	88,0	99,8	100	100	100	100
1	$m-m^l$	-1,8	-0,08	0	0	0	0
1	$D_{MAX} = 0,018$;	$\lambda = 0,18$;	$P(\lambda) = 1,0$				
2	78	92,6	94,6	100	100	100	100
2	m	76	92,6	99,25	100	100	100
2	m^l	76	94,6	99,15	100	100	100
2	$m-m^l$	+2,0	-2,0	+0,1	0	0	0
2	$D_{MAX} = 0,02$;	$\lambda = 0,24$;	$P(\lambda) = 1,0$				
3	m	58,6	94,5	98,54	99,56	99,86	100
3	m^l	64,0	96,5	98,0	99,4	99,8	100
3	$m-m^l$	-5,4	-1,5	+0,54	+0,14	+0,04	0
3	$D_{MAX} = 0,02$;	$\lambda = 0,54$;	$P(\lambda) = 0,964$				
4	m	60,0	92,0	97,5	99,17	100	100
4	m^l	63,0	88,0	96,7	99,0	100	100
4	$m-m^l$	-3,0	-4,0	-0,8	-0,17	0	0
4	$D_{MAX} = 0,04$;	$\lambda = 0,4$;	$P(\lambda) = 0,997$				
5	m	46,0	74,0	88,0	95,5	98,5	100
5	m^l	45,0	70,0	89,5	94,0	98,4	100
5	$m-m^l$	+1,0	+4,0	-1,4	+0,5	+0,1	-0,07
5	$D_{MAX} = 0,015$;	$\lambda = 0,15$;	$P(\lambda) = 1,0$				

Примечание: №1 – МПД (долomit, $\delta_{50}=25$ мкм); №2 – МПВ-2 (тальк, $\delta_{50}=9$ мкм); №3 – МПД (кварц; $\delta_{50}=18$ мкм); №4 – МПД (кварц; $\delta_{50}=10$ мкм); №5 – МПВ-2 (тальк, $\delta_{50}=9$ мкм).

деления числа частиц по размерам (m_i) в «проскоке» через механические скрубберы с теоретическими по гамма-распределению (m^l_i). По величине D_{MAX} установлен критерий согласия Колмогорова « λ » и вероятность того, что гипотетическая функция (гамма-распределение) выбрана правильно $P(\lambda)$ [9].

Из данных таблицы видно, что экспериментальные данные удовлетворительно описываются гамма-распределением, так как величина $P(\lambda)$ имеет достаточно высокое значение (0,964...1,0), на основании чего можно сделать вывод о том, что дисперсный состав пыли в «проскоке» подчиняется гамма-распределению,

частным случаем которого являются степенные функции вида $\varphi_n(\delta) \approx \delta^{-k}$.

При этом важно, что спектр $\varphi_n(\delta)$ «проскока» состоит из двух отличающихся между собой степенных участков: степенной участок мелких частиц ($\delta < 5$ мкм) характеризуется зависимостью типа $\varphi_n(\delta) \approx r^{-(2-2,5)}$; степенной же участок более крупных частиц пыли характеризуется зависимостью вида $\varphi_n(\delta) \approx \delta^{-4}$.

Последнее обстоятельство позволяет сделать вывод в пользу справедливости гипотезы о том, что имеющиеся два разных степенные участка соответствуют двум различным механизмам коагуляции: спектр мелких частиц ($\delta < 5$ мкм) образуется благодаря совместному действию конвективной диффузии и инерции, а спектр более крупных частиц ($\delta > 5$ мкм) образуется за счет действия инерционного механизма осаждения (за счет кинематической коагуляции, основанной на решающем влиянии на осаждение разности скоростей между каплями и частицей пыли). Поэтому при рассмотрении закономерностей взаимодействия частиц пыли с каплями распыленной жидкости в механических скрубберах следует исходить из их вероятностной природы, то есть аналогично объяснению закономерностей взаимодействия частиц пыли с каплями осадков в физике атмосферы [10].

Выводы

Установлен факт генерации в процессах пылеулавливания в механических скрубберах статистических степенных распределений. Это позволяет более обоснованно исходить из предположения о том, что определяющими механизмами улавливания пыли в таких процессах являются: совместное действие конвективной диффузии и инерции – для спектра мелких частиц ($\delta < 5$ мкм); спектр же более крупных частиц ($\delta > 5$ мкм) образуется за счет действия инерционного механизма осаждения – за счет кинематической коагуляции, основанной на решающем влиянии на осаждение разности скоростей между каплями и частицей пыли. По-

следнее необходимо учитывать при расчетах эффективности очистки в механических скрубберах (в особенности для частиц размером до 10 мкм), от эффективности очистки которых в основном и зависит общая эффективность работы мокрых пылеуловителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фукс Н.А.* Механика аэрозолей. Изд-во АН СССР. – 1955. – 351 с.
2. *Чень.* Фильтрация аэрозолей волокнистыми материалами // *Успехи химии.* – Т.25. – 1956. – 368 с.
3. *Кропп Л.И., Акрбут А.И.* Золоуловители с трубами Вентури на тепловых электростанциях // М.: Энергия. – 1977. – 160 с.
4. *Смирнов В.И.* Решение семейства уравнений стационарной коагуляции и модель спектра размеров частиц атмосферного аэрозоля // *ФАО.* – М.: Изд-во АН СССР. – 1977. – Т.13. – С. 274–285.
5. *Лушников А.А., Смирнов В.И.* Стационарная коагуляция и распределение частиц атмосферных аэрозолей по размерам // *Изв. АН СССР.* – 1975. – Т.11, №2. – С. 13–152.
6. *Левин Л.М.* Исследования по физике грубодисперсных аэрозолей // М.: Изд-во АН СССР. – 1961. – 267 с.
7. *Приемов С.И.* Улавливание и рекуперация кормовых и пищевых аэрозолей мокрым коагуляционным методом // *Дисс. ... д.т.н.:* Л, –1990. – 240 с.
8. *Русанов А.А., Урбах И.И., Анастасиади А.П.* Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. – М.: Энергия, 1969. – 456 с.
9. *РТМ 44 – 62* Методика статистической обработки эмпирических данных. ГОСТ 11.066. Прикладная статистика.
10. *Смирнов В.И.* О вероятности столкновения аэрозольных частиц и, в частности, облачных капель // *Тр. ЦАО.* – 1985. – Вып.150: Темат. вып. "Физика облаков и активных воздействий". – 89 с.

Получено 27.01.2009 г.