

Х. РООРАЙД

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ ПЫЛИ ПО ПЕРИМЕТРУ ТРУБ В ШИРМЕ

Проблема загрязнения ширмовых поверхностей нагрева приобретает особую остроту при применении некоторых топлив, минеральная часть которых склонна к образованию плотных, трудно удаляемых отложений. К таким топливам относится единственное энергетическое топливо Северо-западного района Советского Союза — эстонские сланцы. Несмотря на успешное внедрение ширмовых пароперегревателей в парогенераторах Прибалтийской ГРЭС, научные основы проектирования и расчета ширмовых поверхностей нагрева для сланцевых парогенераторов до сих пор разработаны не полностью. В настоящее время ведутся исследования по разным направлениям этой проблемы, частью которых является и исследование процесса осаждения частиц пыли на ширмовые трубы. Данная статья посвящена вопросу распределения частиц при осаждении по периметру труб ширмы. Ответ на этот вопрос позволяет уточнить, по какому механизму происходит транспорт частиц из потока на поверхность труб.

Некоторые замечания относительно качественной картины обтекания ширмы потоком и вероятная схема движения частиц вблизи ширмы даны в [1, 2]. На основе этих работ можно сказать, что транспорт частиц из центральной части потока между соседними ширмами в прилегающую к ширмам область происходит главным образом под воздействием турбулентных пульсаций потока. При этом можно предполагать, что приближение частиц к ширме происходит относительно оси ширмы под острым углом α (рис. 1). Такое мнение подтверждается некоторыми экспериментальными работами. В работе [3] установлено, что при дви-

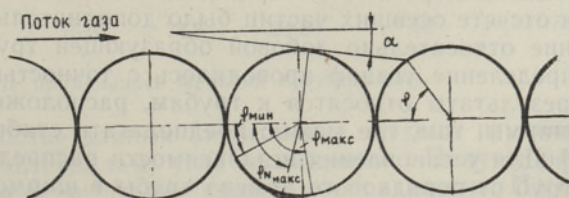


Рис. 1. Схема задних труб ширмы.

жении запыленного потока в канале удар частиц о стенку канала происходит под углом $0-2^\circ$. Основываясь на данных микрофотографирования движущихся в потоке частиц, авторы работы [4] пришли к выводу, что частицы увлекаются турбулентными пульсациями потока, причем

их движение является неизотропным. Это значит, что средние пульсационные скорости частиц вдоль и поперек потока неодинаковы. При опытах со стеклянными шариками диаметром 100 и 200 мкм (плотностью 2150 кг/м³) установлено, что в диапазоне скорости потока от 8 до 26 м/сек среднеквадратичная скорость пульсации частиц вдоль потока составляла от 0,5 до 0,9 м/сек и росла с увеличением скорости потока. Среднеквадратичная скорость пульсации частиц поперек потока при тех же условиях была от 0,3 до 0,4 м/сек и уменьшалась с увеличением скорости потока. Простой расчет показывает, что в таких условиях основная масса частиц приближается к стенке примерно под углом α 0,5—3°. При этом меньший угол соответствует частицам с большей инерцией.

Для упрощения примем, что приблизившиеся к ширме частицы продолжают двигаться прямолинейно до соприкосновения со стенкой трубы. Обозначим угол от лобовой образующей трубы до точки соприкосновения частиц с поверхностью трубы через φ и назовем его углом осаждения (рис. 1). При таком упрощении максимальное количество частиц должно осаждаться в области, где касательная под углом α к поверхности трубы пересекает поверхность следующей трубы (рис. 1). Если принять $\alpha = 0,5 \div 3^\circ$, как найдено выше, то расчет покажет, что максимальное количество частиц должно осаждаться под углом φ 65—80°. Полученные таким образом значения угла осаждения являются первым приближением. В действительности поворот потока между соседними трубами ширмы приводит к отклонению траектории частиц от прямолинейной и к некоторому увеличению угла осаждения.

Что касается минимального угла осаждения, при котором начинается осаждение частиц на поверхности трубы, то этот угол определяется влиянием потока на движение частиц в области, расположенной между соседними трубами. Для этой области можно дать только качественную картину потока [2], а это не позволяет в данное время прогнозировать значения минимального угла осаждения. Можно предполагать, что частицы с меньшей инерцией точнее следуют линиям тока и способны осаждаться под меньшими углами φ , чем частицы с большей инерцией.

Максимальным углом осаждения на поверхность трубы в указанных условиях является угол 90,5—93°. Меньший угол соответствует частицам с большей инерцией. В действительности у боковой образующей трубы может происходить отрыв пограничного слоя; возникшие при этом вихри сносят частицы, и они осаждаются под большими углами φ .

Для контроля приведенной схемы осаждения были проведены опыты на холодной модели ширмовой поверхности. Методика опытов изложена в [1]. При отсчете осевших частиц было дополнительно определено их расположение относительно лобовой образующей трубы, т. е. угол осаждения. Определение угла φ проводилось с точностью около $\pm 1^\circ$. Приведенные результаты относятся к трубам, расположенным дальше от XV трубы ширмы, там, где можно предполагать стабилизацию картины потока [2]. Для установления независимости распределения частиц по периметру труб от порядкового номера трубы в ширме и во избежание случайных ошибок количество и расположение частиц определили для трех-четырех последовательно расположенных труб.

В качестве пыли при опытах применялись порошок АКР-7 [1] и отдельные фракции летучей золы эстонских сланцев, полученной из газоходов после топки с жидким шлакоудалением. Оба вида пыли состояли преимущественно из шаровидных частиц. Плотность частиц порошка АКР-7 и летучей золы соответственно 1190 и 2450 кг/м³. В опытах варьи-

ровались диаметры частиц и труб, а также скорость потока. Режимы опытов приведены в таблице.

Результаты определения углов осаждения

№ опыта	Диаметр труб, мм	Скорость потока, м/сек	Диаметр частиц, мкм	Число Стокса	Минимальный угол осаждения, град	Угол максимума осаждения, град	Максимальный угол осаждения, град
1	6,0	2,5	10,6	0,17	35	66	99
			17,6	0,47	37	66	98
			24,7	0,93	40	68	97
2	6,0	4,8	10,6	0,33	35	68	95
			17,6	0,90	40	71	96
			24,7	1,78	52	73	93
			31,7	2,92	48	73	96
			38,8	4,38	55	73	92
3	6,0	6,4	10,6	0,44	38	69	98
			17,6	1,22	43	71	95
			24,7	2,39	44	72	95
			31,7	3,95	49	74	97
			38,8	5,85	53	73	93
4	6,0	11,9	10,6	0,81	37	71	99
			17,6	2,24	42	72	96
			24,7	4,41	50	73	95
5*	6,0	6,4	31,7	8,04	52	76	96
6*	8,2	6,4	10,6	0,32	39	68	98
			17,6	0,88	41	69	98
			24,7	1,74	49	72	95
7*	8,2	6,4	45,0	11,83	56	75	93
8	12,3	4,8	10,6	0,16	40	68	93
			17,6	0,44	37	70	92
			24,7	0,87	45	72	95
			31,7	1,43	50	73	95
9*	12,3	4,8	45,0	5,94	50	74	95
10*	12,3	11,9	31,7	7,28	56	73	93
			45,0	14,67	60	77	94
11	12,3	12,2	74,5	20,30	60	77	95
12	12,3	15,0	74,5	24,80	58	78	94

* При опыте применялись фракции летучей золы.

При обработке данных отсчитанные частицы группировали по пятиградусным интервалам угла осаждения. Полученные гистограммы превращали в непрерывные кривые распределения. По оси абсцисс этих кривых отложен угол осаждения φ , по оси ординат — доля частиц, осевших в пятиградусном интервале угла φ — N/N_n , где N_n — общее число частиц, осевших на данной трубе, N — число частиц, осевших в пятиградусном интервале.

Анализ полученных кривых распределения показал, что они для всех опытов являются подобными, почти симметричными относительно максимума. Так как на одной трубе было подсчитано ограниченное коли-

чество частиц (250—2000), то кривые распределения на отдельных трубах несколько отличались друг от друга, но не больше чем на $\pm 2^\circ$, что вполне допустимо. Для всех кривых распределения характерно и то, что в пятиградусном интервале около максимума осаждается примерно одинаковая доля частиц — 19—23%. Некоторые типичные кривые распределения приведены на рис. 2.

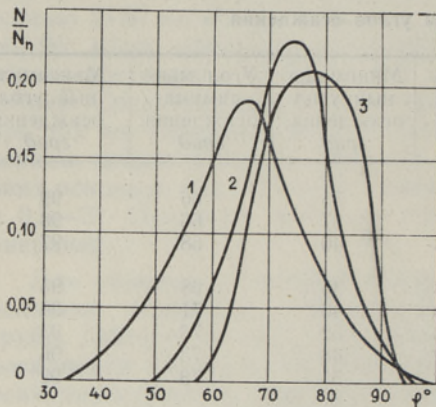


Рис. 2. Типичные кривые распределения частиц по периметру трубы ширмы:

1 — опыт № 1; 2 — опыт № 9; 3 — опыт № 12.

По кривым осаднения определили минимальный угол осаднения $\varphi_{\text{мин}}$, угол максимума осаднения $\varphi_{N_{\text{макс}}}$ и максимальный угол осаднения $\varphi_{\text{макс}}$. Результаты определения приведены в таблице.

Согласно указанной выше схеме, углы осаднения должны зависеть от инерции осаждающихся частиц. Кроме того, определенное влияние на процесс осаднения должны оказывать картина потока и конструктивные характеристики самой поверхности. Все эти параметры можно охарактеризовать безразмерным числом Стокса [5]:

$$\text{Stk} = \omega \delta^2 \rho / 18\nu \rho_r d,$$

где ω — скорость потока, м/сек; ρ_r — плотность потока, кг/м³; δ — диаметр частиц, м; ρ — плотность частиц, кг/м³; ν — кинематическая вязкость потока, м²/сек; d — диаметр труб ширмы, м.

Результаты обработки даны в координатах $\lg \text{Stk} - \lg \varphi$ (рис. 3).

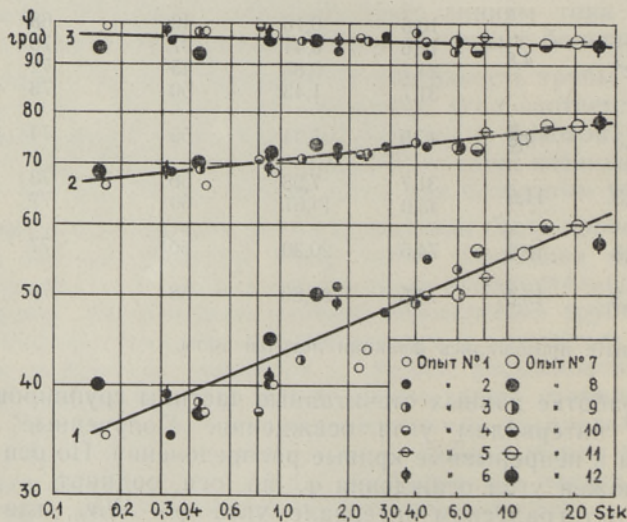


Рис. 3. Зависимость угла осаднения от числа Стокса:

1 — минимальный угол осаднения; 2 — угол максимума осаднения; 3 — максимальный угол осаднения.

Зависимость углов осаждения от числа Стокса очевидна. Что касается значений углов $\varphi_{N_{\max}}$ и φ_{\max} , то они в исследуемом интервале чисел Стокса удовлетворительно согласуются с углами, рассчитанными по упрощенной схеме.

Хотя результаты опытов в определенной степени подтверждаются, нельзя считать, что предлагаемая схема осаждения может полностью описать все явления, наблюдающиеся при осаждении. Процессы движения частиц вблизи ширмы и осаждения на трубах гораздо сложнее, и полное описание их в данное время затруднительно.

Тем не менее результаты опытов позволяют сделать некоторые выводы относительно загрязнения ширмовых поверхностей нагрева. Во-первых, полученные результаты позволяют объяснить причину образования клиновидных гребней отложений. Так как максимальное количество частиц ударяется о трубу примерно под углом φ 70—80°, то именно в этой области начинается более интенсивный рост отложения, что в конечном итоге ведет к образованию клиновидного гребня.

Во-вторых, по результатам опытов можно ожидать, что в условиях парогенератора, вследствие выборочной сепарации частиц летучей золы, отложения под разными углами φ должны иметь разную структуру и даже разный химический состав. Так как имеющиеся в литературе [6] данные о структуре и химическом составе отложений, взятых с ширмовых труб, к сожалению, не освещают вопроса с этой точки зрения, то требуется проведение дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роорайд Х. А., Тр. ТПИ, Сер. А, № 226, 45 (1965).
2. Роорайд Х. А., Эпик И. П., Тр. ТПИ, Сер. А, № 232, 65 (1966).
3. Эксп.-информация. Теплоэнергетика, 1964, № 15, реф. 48. (Реф. статьи Matthias B., Z. angew. Math. u. Mech. 43, Sonderh., 116 (1963)).
4. Soo S. L., Ihrig H. K., El Kouh A. F., Trans. ASME, 82D No. 3 (1960).
5. Волков П. М., В сб. Теория подобия и моделирования, Изд-во АН СССР, 1951, с. 82.
6. Арро Х. Х., Махлапуу А. Я., Рейер А. Х., Тр. ТПИ, Сер. А, № 209, 51 (1963).

Таллинский политехнический институт

Поступила в редакцию
12/III 1968

H. ROORAIID

OSAKESTE JAGUNEMINE SIRMI TORUDE PERIMEETRIL

Töös käsitletakse tahkete osakeste transporti tolmused gaasivoolest sirmküttepinna torudele. Katsetega sirmi mudelil on leitud, et osakeste jagunemine torude perimeetril sõltub osakeste inertsiist. Stokes'i arvude vahemikus 0,16—25 algab osakeste sadenemine torudele 35—60° ja lõpeb 92—99° nurga all toru laupmoodustajast. Maksimaalne arv osakesi sadeneb selle juures 66—78° nurga all. Saadud tulemuste põhjal on võimalik seletada kiilukujuliste sadestiste tekkimise mehhanismi sirmküttepindade saastumisel lendtuhaga.

H. ROORAIID

DIE VERTEILUNG DER STAUBTEILCHEN AM UMFANG DER SCHOTTWANDRÖHRE

Die vorliegende Arbeit behandelt das Beförderungproblem der festen Partikeln aus staubhaltiger Strömung auf die Schottwandröhre. Durch Laborversuche mit einem Schottflächenmodell wurde festgestellt, daß die Verteilung der Staubteilchen am Rohrumfang vom Beharrungsvermögen der Partikeln abhängig ist. Im Bereich der Stokes-Werte 0,16—25 wird das Absetzen der Staubteilchen unter einem Winkel von 35—60° von der Stirnerzeugenden anfangen und unter einem Winkel von 92—99° enden. Die maximale Anzahl der Staubteilchen wird sich dabei unter einem Winkel von 66—78° absetzen. Auf Grund der Untersuchungsergebnisse wird es möglich, den Bildungsmechanismus der keilförmigen Flugaschenablagerungen auf den Schottheizflächen zu erklären.