

Федоренко М. А., д-р техн. наук, проф.,
Бондаренко Ю. А., д-р техн. наук, проф.,
Санина Т. М., канд. техн. наук, доц.,
Афонин В. Г., аспирант,
Аулов В. Г., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫБРОСА КЛИНКЕРНОЙ ПЫЛИ В АТМОСФЕРУ*

KDSM2002@mail.ru

В ходе проведённых исследований установлено, что движение пыли в камере холодильника происходит под действием электростатического поля и противотоков газовых потоков с решетки колосникового холодильника и явлений запыления внутреннего канала печи. Частным решением задачи устранения выбросов пыли является установка уплотнительного устройства препятствующего выбросу пыли и скопленю её в этом устройстве.

Ключевые слова: клинкерная пыль, выбросы в атмосферу, вращающееся оборудование.

В связи с большим объемом выбросов клинкерной пыли, что приводит к нарушению экологии в районе вращающихся печей, специалистами НИЛ БГТУ им. В.Г. Шухова были проведены исследования процессов пылеобразования во вращающихся обжиговых печах и выброс ее в атмосферу через зазор холодильная камера – корпус печи.

Для решения задачи, выброса пылевоздушной смеси через зазор холодильная камера – корпус печи проведены исследования движения пылевоздушной смеси в камере холодильника. В результате чего получена общая схема движения пыли (рис.1), которая под влиянием воздушного потока частично вовлекается в печь 2, а частично выбрасывается в атмосферу через зазор камера холодильника – печь.

Установлено, что на движение потока воздуха и пыли влияет конструкция камеры холодильника 1, глубина погружения печи 2 в камеру 1, а так же величина зазора 4 и сопротивление этому потоку, которое оказывает уплотнительное устройство.

Как известно, энергозатраты на транспортировку пыли ΔW вычисляются по формуле:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \int_{L_i} (\Phi_{xi} dx + \Phi_{yi} dy + \Phi_{zi} dz), \quad (1)$$

$$\text{где, } \Phi_{xi} = m_i \frac{d^2 x}{d\tau^2} = -F_i \cos \theta_i + \Pi_i \cos \theta_i$$

$$\Phi_{yi} = m_i \frac{d^2 y}{d\tau^2} = -F_i \sin \theta_i + \Pi_i \cos \theta_i, \quad (2)$$

$$\Phi_{zi} = m_i \frac{d^2 z}{d\tau^2} = Q_i - t_i^2 m_i \left(u - \frac{dz}{dr}\right)^2 + \Pi_i z. \quad (3)$$

где L_i - траектория движения отдельной частицы;

Φ_x, Φ_y, Φ_z - проекции на оси координат суммарной силы, действующей на частицу; m_i - масса частицы; τ - время; Q_i - увлекающая сила; $t_i^2 m_i \left(u - \frac{dz}{dr}\right)^2$ - сила сопротивления; θ_i - угол между направлением вектора скорости относительно движения и направлением потока; u - скорость потока; Π_i - подъемная сила (сила аэродинамического прохождения, возникающая в результате нелинейного профиля скоростей и неравномерного обтекания частицы); h - число частиц; t_i - коэффициент [1].

Следует заметить, что равнодействующая всех сил Π_i в нашем случае направлена к периферии (боковой стенке) холодильника.

Кроме того, в пристеночной области 4 скорость движения газа снижена, а если учесть еще и силы сцепления между стенкой и частицами, то станет понятным явление налипания твердой фазы на стенках холодильника. С другой стороны, развиваемая турбулентность газового потока препятствует скопленю пыли на стенках. Существует оптимальная толщина слоя пристеночной пыли, соответствующая динамическому равновесию, при котором количество пыли уносимой потоком, равно количеству пыли, оседающей на стенке в единицу времени. Эта толщина невелика, по ориентировочным расчетам для боковых стенок она не превышает половины внутреннего логарифмического слоя [1]. Тем не менее, из-за большой площади общей поверхности стенок холодильника, количество осевшей пыли может быть значительным и его нельзя не

учитывать. Развитая турбулентность и, как следствие, локальные перепады давления являются одной из причин щелевого пылевыделения. Ликвидация налипания пыли на станках холодильника и последующее вовлечение пыли в основной поток, снизит потери материала и увеличит эффективность работы холодильника. Достичь этого можно путем вибрации поверхности с помощью звука или ультразвука. Ультразвуко-

вые и звуковые волны будут также способствовать коагуляции частиц [1] и удалению их из объема холодильника, при этом снизится и щелевой пылеунос.

На структуру потока пылевоздушной смеси существенное влияние оказывают углы конструкции, при обтекании которых создаются завихренные зоны, размер которых с течением времени возрастает.

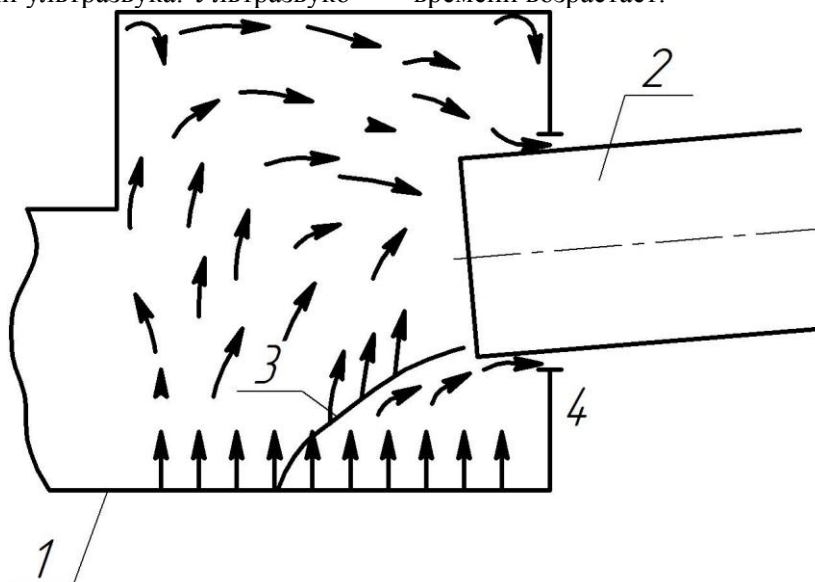


Рис. 1. Схема движения пылевоздушной смеси в холодильнике вращающейся печи:
1 – холодильник; 2 – печь; 3 – клинкер; 4 – стенка холодильника

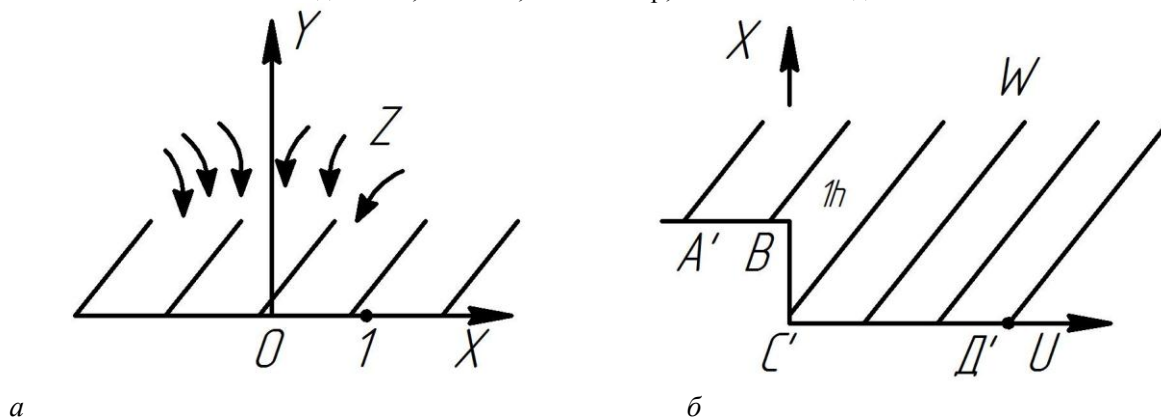


Рис. 2. Соответствие областей при комфортном отображении

Угол можно представить в виде совокупности вертикальной и нижней стенок. В результате силы сцепления с вертикальной стенкой и силы трения о нижнюю стенку завихренная зона имеет тенденцию к вытягиванию в горизонтальном направлении. При достижении некоторого критического размера вихревая зона срывается со стенки и уносится потоком.

После этого вблизи вершины угла образуется новая вихревая зона, которая растет до критического размера и вновь срывается и т.д. В итоге в углу идет накопление пыли, причем количество ее должно иметь циклический характер. Ориентировочные расчеты по формулам подтвердили повышенное скопление пыли в уг-

лах (около 8% всей пыли, содержащейся в холодильнике, постоянно находится в его углах). Для борьбы с этим явлением необходимо сгладить углы, придав им форму линий, уравнения которых можно получить из источника [1]. Если взять в качестве линий тока дугу окружности с центральным углом не менее $\frac{\pi}{4}$, то можно до-

стичь удовлетворительного снижения углового эффекта пыленакопления.

На структуру потока пылевоздушной смеси доминирующее влияние оказывают выступ печи, заходящий под углом в холодильник, и косой удар струи материала 3 (см. рис. 1) о плос-

кость 4. Для простейшей аппроксимации этого влияния можно воспользоваться аппаратом конформных отображений. В первом случае, произведем отображение верхней полуплоскости $J_m z > 0$ (рис. 2, а) на фигуру W , представленную на рис. 2, б, где угол CBA схематично изображает выступ печи, BC - аспирационное отверстие в плоскости Z . Функция конформного отображения в данном случае:

$$W = \frac{h}{\pi} \left[(\Pi z^2 - 1)^{\frac{1}{2}} + A_c chZ \right]. \quad (4)$$

Зная комплексный потенциал (ω) плоскопараллельного течения и $J_m z > 0$, можно найти $\frac{d\omega}{dW}$:

$$\omega = i \frac{Q}{\pi} \arcsin \frac{2z}{a}, \quad (5)$$

где Q - плоский расход воздуха; a - ширина щели BC .

$$\frac{d\omega}{dW} = i \frac{2Q}{\pi a} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{4z^2}{d^2}}} \frac{1}{dz}, \quad (6)$$

$\frac{dW}{dz}$ можно легко найти, а значит и поле скоростей в плоскости W , так как $\frac{d\omega}{dW} = V_n - iV_v$,

где V_n, V_v - соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие скорости в плоскости W . Проведенные расчеты (в первом приближении) показали, что для нормализации структуры потока выступ печи должен находиться на более чем 0,4 м от свода холодильника. Вместо смещения холодильника по вертикали можно укоротить выступ печи и достичь того же эффекта.

Наличие косоугольного удара струи материала 3 (рис. 1) о плоскость 4 происходит интенсивное течение твердой фазы, которое приближенно можно описать с помощью классической модели косоугольного удара, представленного в литературе. Можно показать, что восходящий пылевоздушный поток расслаивается, причем более интенсивное движение пыли происходит в направлении, указанном на рис. 1.

Итак, установлено, что движение пыли в камере холодильника происходит под действием электростатического поля и противотоков газовых потоков с решетки колосникового холодильника и явлений запираания внутреннего канала печи. Вследствие этих явлений происходит пылевывброс через зазор корпуса печи и холодильника в атмосферу. При критических запирааниях корпуса печи в камере возникает встречное движение двух потоков - из печи и из холодильника, и в связи с увеличением давления происходит выброс газа и пыли в зазор корпус печи - холодильник.

Частным решением задачи устранения выбросов пыли является установка уплотнительного устройства препятствующего выбросу пыли и скоплению её в этом устройстве.

**Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы, грант А-26/12 от 10.04.2012.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лаврентьев М.А. Проблемы вибродинамики и их математические проблемы / М.А. Лаврентьев, Б.В. Мабат – М.: Наука, - 1973. - С.237-238.
2. Рубцов, А.Н. Труды НИИЦИ / А.Н. Рубцов, Ю.А. Иноземцев, С.В. Логей, В.Е. Чукардин // вып. 24, Новороссийск, - 1982, - С. 74-81.
3. Конструктивно-технологические методы и способы восстановления работоспособности цементных вращающихся печей: монография / М.А. Федоренко. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2007. -192 с.
4. Федоренко М.А. Лепестковое уплотнительное устройство для цементных вращающихся печей / М.А. Федоренко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2007. – №3 – С. 67–69.
5. Пат.106344 Российская Федерация, МПК F27 В 7/24. Вращающаяся цементная печь / Аулов В.Г., Федоренко М.А., Санина Т.М., Бондаренко Ю.А.; заявитель и патентообладатель Белгород. БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2010145601/02.; заявл. 09.11.10 опубл. 10.07.11. Бюл. № 19. – 2 с.