

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
г. Воронеж, Россия

УДК 621.3.035.82:666.76.002.2

РАЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И АСПИРАЦИОННЫХ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ТРАКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОГНЕУПОРОВ

Рассмотрены проектные и конструктивные решения технологических и аспирационных пылегазовых трактов и условия их эксплуатации, обеспечивающие высокую эффективность систем пылеулавливания в производстве огнеупоров и ряда строительных материалов. Приведены характеристики прокладочных материалов и распределительных устройств, обеспечивающих равномерную раздачу пылегазового потока по сечению газоходов. Особое внимание уделено выбору тягодутьевых устройств и теплоизоляции газоходов и пылеуловителей. Даны оригинальные номограммы для определения толщины изоляции газоходов и плоских поверхностей.

Ключевые слова: газоходы, пылеулавливание, вентиляторы, дымососы, высота дымовой трубы.

Аэродинамическое усовершенствование пылеуловителей, обеспечивающее более высокую степень извлечения пыли из пылегазового потока, требует особого внимания к организации, устройству и эксплуатации пылегазовых трактов и систем пылеудаления. Очевидно, что эффективность систем пылеулавливания значительно зависит от проектного и конструктивного решения пылегазовых трактов и условий их эксплуатации [1, 2]. Трассы газоходов необходимо проектировать по возможности кратчайшими, с минимальным числом фланцев, креплений и компенсаторов. На отдельные звенья их следует разбивать таким образом, чтобы обеспечить возможность изготовления и монтаж отдельных участков газо- и воздухопроводов в виде транспортабельных блоков.

Газоходы и воздухопроводы изготавливают из листовой стали марки ВСтЗкп2 или ВСтЗпсб толщиной 3 и 5 мм соответственно, фланцы — из листовой, полосовой или угловой стали, при $D_y = 500 \div 1400$ мм — из полосовой и угловой стали. При выборе сечения газоходов руководствуются следующим: пыль не должна оседать в газоходах и забивать их, гидравлическое сопротивление газоходов должно быть минимальным. Для выполнения этих условий линейная скорость пылегазового потока в газоходах ω_r должна превышать скорость свободного витания частиц дисперсной фазы $\omega_{с.в.}$, методика определения которой описана в публикации [3]. При обычно рекомендуемом диапазоне изменения значений ω_r ($8 < \omega_r < 16$ м/с) число Рейнольдса Re должно отвечать турбу-

лентному режиму движения пылегазового потока ($1,5 \cdot 10^4 < \omega_r < 1,5 \cdot 10^6$).

Устройство длинных горизонтальных газоходов, особенно подводящих запыленный газ к пылеуловителям, нецелесообразно. При значительной запыленности газов и необходимости применения длинных газоходов их выполняют с зигзагообразной конфигурацией в вертикальной плоскости с установкой ловушек в зонах невозможного выпадения пыли. В этом случае для уменьшения гидравлического сопротивления газоходов скорость движения газов в них снижают до 9–10 м/с. При передаче по газоходам влажного газа с температурой, близкой к точке росы, газоходы теплоизолируют. В соответствии с правилами техники безопасности теплоизолируют также газоходы для горячего газа. Рекомендуемые скорости газа (м/с) приведены ниже:

Газоходы общего назначения	10–12
В газоходах при входе в циклоны ЦН-15, ЦР, ЦР _к , СКЦН-34, ЛИОТ, СИОТ, ВЦНИИОТ	12–15
Батарейные расходы ПБЦ, БЦ, ПКН.	9–10
Группа циклонов ЦН	12–15
Пылеуловители инерционные ПИ-10, вихревые и дымососы-пылеуловители типа ДП	14–18
Скрубберы полые СП, насадочные СДК, гидродинамические ГДП и ПГП, пенные аппараты	12–14
Скрубберы Вентури ГВПВ, СВ-Кк, коагуляционные мокрые пылеуловители КМП и КЦМП	14–16
Фильтры рукавные ФРКИ, ФРКДИ, ФР, ФРОС, УРФМ-ПМ, фильтры с зернистыми слоями	12–14

На газоходах с температурой пылегазового потока выше 70°C предусматривают компенсаторы температурных удлинений. Компенсаторы устанавливают также на газоходах перед дымососами и вентиляторами во избежание передачи усилий на механизмы и вибраций от механизмов на газоходы.

Эффективность пылеулавливания во многом зависит от степени неравномерности распределения пылегазового потока как по отдельным секциям многосекционного аппарата, так и по рабочему сечению самого аппарата. Степень неравномерности распределения газа неодинаково влияет на эффективность пылеуловителей различных типов. Наибольшее влияние она оказывает на аппараты с малым гидравлическим сопротивлением: пылеосадительные камеры, простейшие инерционные пылеуловители, прямооточные циклоны, полые форсуночные скрубберы и т. д. Менее чувствительны аппараты, у которых гидравлическое сопротивление находится в пределах 400–800 Па. К ним относятся группы циклонов, батарейные циклоны, пенные аппараты, насадочные скрубберы СДК, гидродинамические промыватели ГДП и ПДП. Эффективность фильтров и высоконапорных труб Вентури еще меньше зависит от степени неравномерности распределения пылегазового потока [4].

Направляющие устройства особенно эффективны в случае расширяющихся газоходов (разделительные стенки в диффузорах) и в изогнутых коленах (направляющие лопатки в коленах и на повороте струй). Принудительное выравнивание при помощи сеток, решеток и тому подобных устройств эффективно во всех случаях, но не всегда желательно по конструктивным либо эксплуатационным соображениям.

Если отношение площади сечения рабочей камеры аппарата F_k к площади сечения подводящего трубопровода F_0 невелико ($F_k/F_0 \leq 3$) и допустима небольшая степень неравномерности, то подвод потока может быть осуществлен при помощи диффузора с углом раскрытия α , равным $8-10^{\circ}$, при круглом сечении и $12-15^{\circ}$ при прямоугольном сечении с углом расширения сечения в одной плоскости [5].

Подводящие участки часто выполняют в виде колена. В этом случае следует устанавливать направляющие лопатки — профилированные или упрощенные, т. е. изогнутые по поверхности цилиндра. Наиболее выгодным углом установки лопаток, т. е. углом между направлением потока и хордой лопатки, в случае равномерного распределения скоростей в набегающем потоке для колена с постоянным

поперечным сечением можно считать $\alpha \approx 48^{\circ}$ [4, 6]. Если есть основания опасаться отложения пыли на внутренней поверхности криволинейных лопаток, то допускают некоторое ухудшение распределения скоростей и применяют направляющие лопатки в виде пластин. Для пластин предпочтительно равномерное размещение по сечению. Угол атаки пластин берут равным примерно 85° .

Вместо колен с крутым поворотом целесообразно использовать колена с плавным поворотом с большим радиусом закругления при $r/b_0 > 1,0$, где r — радиус закругления; b_0 — диаметр (ширина) колена. При невозможности применения больших радиусов закругления устанавливают направляющие лопатки. Число лопаток n выбирают по данным, приведенным ниже:

r/b_0	$< 0,1$	$0,1-0,4$	$0,4-1,0$	$1,0$
n	$4-3$	2	1	0

Для установок, состоящих из группы параллельно работающих пылеулавливающих аппаратов, к которым подводится поток от общего коллектора или из которых собирается в общий коллектор, важно обеспечить равномерное газораспределение по всем аппаратам. Это условие соблюдается при правильном выборе форм и размеров, раздающих и собирающих коллекторов, которые бывают постоянного и переменного сечения (конусные), клиновидные. Поток газа выходит или всасывается в них через отдельные отверстия в боковых стенах, расположенных по длине коллектора. Раздача потока по аппаратам коллекторами переменного сечения всегда приводит к значительно более равномерному распределению скоростей (расходов). Поэтому там, где это возможно, им следует отдавать предпочтение перед раздающими коллекторами постоянного сечения, особенно если последние больших размеров. При этом уменьшение сечения раздающего коллектора должно быть пропорционально уменьшению расхода газов по его длине.

Симметричный подвод потока к коллектору или отвод от него резко улучшает степень равномерности распределения скоростей (расходов) по ответвлениям. При этом чем больше число подводящих и отводящих отверстий, тем выше равномерность распределения скоростей. При спаренных коллекторах для получения равномерного расхода через боковые ответвления можно использовать ответвления с переменными диаметрами.

Установкой регулирующих лопаток шибров на входе или выходе из аппарата можно

получить практически равномерное распределение скоростей по всем секциям аппаратов. Окончательно устанавливая лопасти под оптимальными углами целесообразно не на входных шиберах, а на шиберах, помещенных на выходе из аппарата. Образование отложений пыли на лопастях шибера может нарушить достигнутую первоначально равномерность распределения скоростей как по сечению аппарата, так и по отдельным аппаратам. Однако вероятность образования таких отложений на лопастях шибера после пылеулавливания аппаратов мала.

Эффективность пылеулавливания в значительной мере зависит от выбора и условий эксплуатации тягодутьевых устройств, обеспечивающих движение пылегазового потока от технологических агрегатов к пылеуловителям. В огнеупорном производстве в качестве тягодутьевых устройств наиболее перспективны вентиляторы ЦП7-40, Ц6-30, ВВД, ВМ, ВГДН, ВДН и дымососы ДН [2, 4, 6].

Центробежные вентиляторы ЦП7-40 предназначены для систем пылеочистных установок и пневмотранспорта при гидравлическом сопротивлении сети не более 4000 Па. Их поставляют на общей раме с электродвигателем (согласно заказ-наряду). Каждый вентилятор можно использовать для различных видов работы при комплектовании разными по мощности электродвигателями в пределах аэродинамических характеристик. Вентиляторы имеют бронированные лопасти и могут быть использованы при температуре газа до 200 °С. Центробежные вентиляторы Ц6-30 предназначены для транспортировки газов, содержащих неабразивные или липкие вещества концентрации до 0,5 кг/м³.

Центробежные вентиляторы высокого давления ВВД № 8, 9 и 11 предназначены для перемещения при температуре до 100 °С воздуха и газов, не содержащих липких веществ. Содержание пыли в среде при применении ВВД № 11 не должно превышать 150 мг/м³. Вал вентилятора ВВД № 11 приводится во вращение от электродвигателя эластичной муфтой, а вентиляторов ВВД № 8 и 9 — ременной передачей или эластичной муфтой. Рабочее колесо вентилятора имеет 12 лопаток, изогнутых по направлению вращения колеса.

Мельничные вентиляторы ВМ15, ВМ16, ВМ17, ВМ18, ВМ18А, ВМ19А, ВМ20А предназначены для работы при температуре газов до 200 °С. Рабочие колеса вентиляторов ВМ18А, ВМ19А, ВМ20А изготавливают из низколегированной стали 10ХСНД. Мельничные вентиляторы выпускают правого и левого вращения, они

могут работать при запыленности газов до 80 г/м³. Подшипники вентиляторов имеют жидкую картерную смазку. Для охлаждения масла (при температуре газов > 70 °С) в корпус подшипников вставляют змеевик водяного охлаждения. Расход воды с температурой не выше 20 °С для вентиляторов ВМ18А, ВМ19А, ВМ20А должен составлять не менее 0,7 м³/ч, для всех остальных — не менее 0,5 м³/ч.

Дутьевые вентиляторы ВДН благодаря достаточно высоким значениям развиваемого давления, а также широкой номенклатуре по производительности применяют в системах пылеулавливания. Вентиляторы горячего дутья ВГДН отличаются от дутьевых только конструктивными особенностями, позволяющими применять их при температуре газов до 400 °С.

Центробежные дымососы одностороннего всасывания ДН длительно работают при температуре до 250 °С. От вентилятора ВДН они отличаются увеличенной толщиной лопаток рабочего колеса, наличием накладок у корня этих лопаток, брони по образующей улитки и обязательного водяного охлаждения подшипников. Технические и аэродинамические характеристики вентиляторов и дымососов приведены в публикации [5].

При выборе вентилятора или дымососа и электродвигателя к нему предварительно определяют следующие показатели:

1) производительность Q (для малозапыленного воздуха дымовых газов $Q = Q_p$);

2) полный напор H для условий, отличающихся от стандартных, причем

$$H = H_p (273 + t) / (273 + t_x) \cdot 101,3 / B \rho_v / \rho_r, \quad (1)$$

где t — температура воздуха или газа, °С; t_x — температура, для которой дана характеристика машины, °С; B — барометрическое давление в зоне установки вентилятора, кПа; ρ_r — плотность газа при $t = 0$ °С и $B = 101,3$ кПа, кг/м³; ρ_v — плотность воздуха при тех же условиях, кг/м³;

3) потребляемую мощность на валу электродвигателя N , которую при перемещении пылегазового потока рассчитывают по формуле

$$N = 1,2 QH(\eta_v \eta_n), \quad (2)$$

где η_v — КПД вентилятора (принимается по характеристикам); η_n — КПД передачи, зависящий от рода передачи ($0,9 \leq \eta_n \leq 1,0$);

4) установленную мощность электродвигателя N_y :

$$N_y = K_3 N, \quad (3)$$

где K_3 — коэффициент запаса мощности (для центробежных вентиляторов при измерении

Формулы для пересчета характеристик вентиляторов

По ρ	По n	По D
$Q_2 = Q_1$	$Q_2 = Q_1(n_2/n_1)$	$Q_2 = Q_1(D_2/D_1)^2$
$H_2 = H_1(\rho_2/\rho_1)$	$H_2 = H_1(n_2/n_1)^2$	$H_2 = H_1(D_2/D_1)^2$
$N_2 = N_1(\rho_2/\rho_1)$	$N_2 = N_1(n_2/n_1)^3$	$N_2 = N_1(D_2/D_1)^3$
$\eta_2 = \eta_1$	$\eta_2 = \eta_1$	$\eta_2 = \eta_1$

N от 0,5 до 5 кВт и более K_3 меняется от 1,5 до 1,1).

Мощность электродвигателя принимают равной или ближайшей большей по каталогу электродвигателей. Тип электродвигателя выбирают с учетом его эксплуатации. Характеристики вентилятора на другие обороты и размеры, плотности газа пересчитывают по формулам, приведенным в таблице [5]. При подборе тягодутьевых машин запас на производительность принимают 10 % и на требуемое давление 21 %. Если один вентилятор не обеспечивает требуемой производительности, то допускается установка параллельно работающих вентиляторов. Для определения их производительности при заданной характеристике сети строят график их суммарной характеристики и находят точку пересечения ее с характеристикой сети. При неправильном выборе возможно, что второй вентилятор не увеличит производительности, так как первый вентилятор будет прогонять часть газа через второй вентилятор. Если достигнуть требуемого давления от одного вентилятора невозможно, для повышения давления допускается установка двух последовательно работающих вентиляторов. Для определения получаемого эффекта графически находят точку пересечения характеристик сети и суммарной мощности двух вентиляторов.

Для рассеивания очищенных газов в атмосфере при умеренной производительности типичных в огнеупорном производстве пылеуловителей применяют металлические трубы высотой до 45 м. Моспроектом выпущен альбом типовых металлических труб диаметром 400, 500, 630, 800 и 1000 мм. Первые три диаметра труб имеют высоту 20 и 30 м, последние 20, 30 и 45 м. Трубы раскрепляют оттяжками, расположенными в зависимости от высоты трубы в один или два яруса. В каждом ярусе устанавливают по три стяжки. Максимально допустимая температура отходящих газов в случае применения металлических труб без футеровки составляет 350 °С.

Для защиты металлических труб от коррозии при отводе серосодержащих дымовых газов внутреннюю поверхность труб в период

монтажа, когда они находятся в горизонтальном положении, покрывают двумя слоями жаро- и коррозионно-стойкого лака ФГ-9. Наружную сторону труб и оттяжку покрывают двумя слоями того же лака с добавлением 5 % алюминиевой руды.

При проектировании новых предприятий минимальную высоту дымовой трубы H рассчитывают по формуле

$$H = \sqrt{AQF_{\text{мтс}} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) / \left[(\text{ПДК} - c_{\text{ф}}) \cdot (V\Delta T)^{1/3} \right]}, \quad (4)$$

где A — коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия неблагоприятного вертикального и горизонтального рассеивания загрязняющего вещества в атмосфере; Q — количество вредного вещества (или пыли), выбрасываемого в атмосферу, г/с; F — безразмерный коэффициент, учитывающий осаждение загрязняющего вещества в воздухе; m , n — безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; α — коэффициент временного осреднения, характеризующий зависимость РВД от времени осреднения; ρ/ρ_0 — показатель вытянутости розы ветров для конкретного района; ПДК и $c_{\text{ф}}$ — предельно допустимая и фактическая концентрации вредного вещества (или пыли), выбрасываемого в атмосферу, мг/м³; V — расход выходящей из устья трубы газовой смеси, м³/с; ΔT — разность между температурами выбрасываемой газовой смеси $T_{\text{г}}$ и окружающего атмосферного воздуха T , °С.

В зависимости от условий принимают следующие значения коэффициента F :

- для газообразных веществ и высокодисперсных аэрозолей, скорость осаждения которых не превышает 0,05 м/с, $F = 1$;
- для крупнодисперсной пыли, если средний эксплуатационный коэффициент очистки не более 90 %, $F = 2$; если 75–90 %, $F = 2,5$; если менее 75 %, $F = 3$.

Величину $\Delta T = T_{\text{г}} - T_{\text{в}}$ определяют, исходя из среднегодовой или среднемесячной температуры выбрасываемой газовой смеси $T_{\text{г}}$ по действующим для предприятий технологическим и санитарным нормативам либо по данным измерений. При определении $T_{\text{г}}$ учитывают подсос воздуха и охлаждение выброса в случае использования мокрой пыле- и газоочистки. Температуру окружающего воздуха $T_{\text{в}}$ принимают согласно действующим нормам.

При расчетах высоты трубы в первом приближении произведение коэффициентов m , n

полагают равным 1 и по формуле (4) рассчитывают H . Затем по найденному значению H определяют вспомогательные параметры f и V_m , причем

$$f = 10^3 w D / \left(\frac{H^2}{\Delta T} \right), \quad (5)$$

$$V_m = 0,65 \sqrt[3]{V \Delta T / H}, \quad (6)$$

где w — скорость выхода газовой смеси из устья трубы, м/с; D — диаметр устья трубы, м.

Коэффициент m рассчитывают по формуле [5]

$$m = 1 / \left(0,67 + 0,1f^{\frac{1}{2}} + 0,3f^{\frac{1}{3}} \right). \quad (7)$$

Коэффициент n определяют по следующим соотношениям: при $V_m \leq 0,3$ м/с $n = 3$, при $0,3 < V_m \leq 2$ $n = 3 - \sqrt{(V_m - 0,3) \cdot (4,36 - V_m)}$, при $V_m > 2$ м/с, $n = 1$.

Если произведение найденных коэффициентов m и n не равно единице, то H необходимо уточнять по рекуррентной формуле

$$H_{i+1} = H_i \sqrt{m_i n_i / (m_{i-1} n_{i-1})}, \quad (9)$$

где m_i , n_i — безразмерные коэффициенты, соответствующие H_i ; m_{i-1} , n_{i-1} — безразмерные коэффициенты, соответствующие H_{i-1} .

В публикации [5] показано, что $\alpha = 1/13$ при среднегодовом ПДВ и $\alpha = 1/2$ при среднесуточном ПДВ. Для всех труб предусматривают систему молниезащиты, создаваемую на основе Временных указаний по проектированию и

устройству молниезащиты зданий и сооружений (СН 305–65).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Krasovickij, I. V.** Aerodynamische Verfahren zur Erhöhung der Leistungserzeugung der Entstaubung : monographia / I. V. Krasovickij, P. Baltrenas, B. G. Kolbeschkin [et al.]. — Vilnius : Technika, 2006. — 352 S.
2. **Энтин, В. И.** Аэродинамические способы повышения эффективности систем и аппаратов пылеулавливания в производстве огнеупоров / В. И. Энтин, Ю. В. Красовицкий, Н. М. Анжеуров [и др.]. — Воронеж : Истоки, 1998. — 362 с.
3. **Красовицкий, Ю. В.** Обеспыливание промышленных газов в фаянсовом производстве / Ю. В. Красовицкий, А. В. Малинов, В. В. Дуров. — М. : Химия, 1994. — 272 с.
4. **Красовицкий, Ю. В.** Новые конструктивные решения зернистых фильтров и перспективы их применения при тепловой сушке в химической и пищевой технологиях / Ю. В. Красовицкий, Р. А. Важинский, Н. Н. Лобачёв [и др.] // Вестник Тамбовского гос. техн. ун-та, 2008. — Т. 14. — С. 608–614.
5. **Швыдский, В. С.** Очистка газов : справочное пособие / В. С. Швыдский, М. Г. Ладыгичев. — М. : Теплоэнергетика, 2002. — 640 с.
6. **Красовицкий Ю. В.** Энергетический анализ и выбор энергосберегающих параметров импульсной регенерации фильтров, улавливающих пыль из сушильного агента / Ю. В. Красовицкий, Р. А. Важинский, Н. Н. Лобачёв [и др.] // Вестник Тамбовского гос. техн. ун-та. — 2008. — Т. 14, № 3. — С. 605–607. ■

Получено 11.06.13

© Ю. В. Красовицкий, Е. В. Архангельская,
2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



15th CHINA (GUANGZHOU) INT'L EXHIBITION

ON METAL AND METALLURGY — 15-я китайская международная выставка металлов и металлургии

Специализация:

- Металлы и металлургия
- Оборудование производства и обработки толстолистового металла, труб, проволоки и др.
- Нержавеющие стали, метизы, пружины
- Обработка листового металла, прессового и штамповочного оборудования
- Отливки и литье + технологический симпозиум
- Промышленные печи
- Термообработка
- Оборудование автоматизации металлургического производства

16–18 июня 2014 г.
г. Гуанчжоу, Китай

<http://www.julang.com.cn/english/index.asp>