

на / Минстройматериалов СССР. М., 1983. 4. Разработать и внедрить мероприятия по рациональному использованию и экономии топливно-энергетических ресурсов в процессах заводского изготовления строительных материалов и ограждающих конструкций и эксплуатации зданий с целью сокращения удельных расходов энергии: Отчет о НИР/БПИ. Шифр темы ГБ-83-02; № Г.Р. 0183-008684. Мн., 1986.

УДК 697.94

В.Н.ДЬЯЧЕНКО

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ РАБОТЕ АППАРАТОВ МОКРОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

В настоящее время для очистки газовых выбросов применяют двухступенчатые системы [1], включающие сухие инерционные пылеуловители в качестве первой ступени и устройства мокрой очистки типа циклонно-пенных аппаратов (ЦПА), циклонов с водяной пленкой (ЦВП), скрубберов Вентури и др.

Наиболее рациональным направлением совершенствования пылегазоочистки является сочетание в одном устройстве методов, обеспечивающих эффективное последовательное отделение различных по своим свойствам вредностей [1]. На этом принципе разработан аппарат, первая ступень очистки в котором основана на циклонном эффекте для улавливания средне- и крупнодисперсных фракций пыли, а вторая ступень — на поглощении мелких фракций пыли в интенсифицированном инжекционно-пенном режиме контакта газа и жидкости [2].

Комбинированный двухступенчатый инерционно-пенный аппарат (КДПА) представляет собой циклон, внутри которого находится контактное устройство для создания интенсифицированного режима образования эмульсионного слоя с высокоразвитой поверхностью взаимодействия газа и жидкости (рис. 1). Устройство включает корпус циклона 5, тангенциальный патрубок 1 для входа газа, расположенный под углом 24° к уровню жидкости штуцеру 8 и 9 для ввода и вывода жидкости, вертикальную цилиндрическую рабочую камеру 4, установленную соосно с корпусом. Нижняя часть камеры расположена в корпусе и снабжена лопаточным закручивателем 7. Лопатки закручивателя 6 выполнены в виде части винта, равномерно расположены по окружности сечения контактной камеры и частично перекрывают друг друга, образуя сужающиеся по длине винтовые каналы Λ -образного поперечного сечения. В верхней части контактной камеры расположен сепаратор 3 с патрубком 2 для вывода отработанного газа.

Аппарат работает следующим образом. Подлежащий обработке газ через входной патрубок 1 поступает в верхнюю часть корпуса циклона 2, частично заполненного жидкостью, где в кольцевом пространстве, образованном внутренней стенкой корпуса и наружной поверхностью контактной камеры 4, газ получает начальный вращательный импульс, опускаясь при этом по кольцевому пространству вниз к поверхности жидкости. В первой ступени при вращательно-поступательном движении газового потока разви-

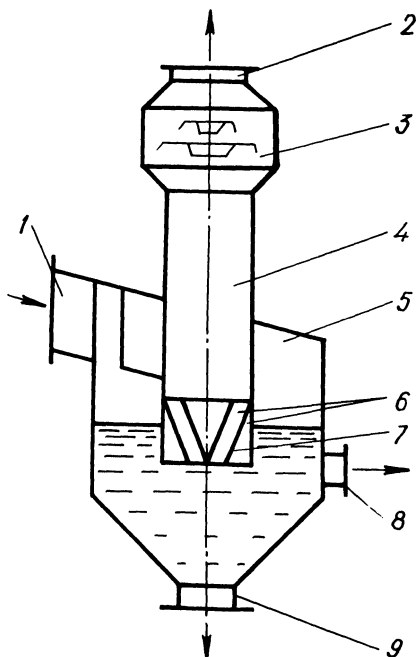


Рис. 1. Принципиальная схема КДПА

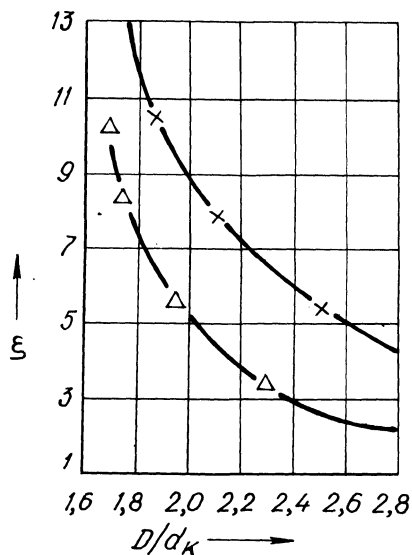


Рис. 2. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от величины межкольцевого пространства

вается центробежная сила, под действием которой частицы пыли подводятся к стенке корпуса и оседают. Наблюдаемый циклонный эффект улавливания пыли средней и крупной фракции способствует уменьшению нагрузки по пыли в мокрой стадии очистки.

В дальнейшем газ, касаясь поверхности жидкости, проходит через винтовые межлопаточные каналы закручивателя (частично погруженного или расположенного над поверхностью жидкости), где получает ускоренное вращательное движение, и в виде ряда взаимодействующих потоков поступает в контактную камеру 4 по винтовой траектории без скачков скорости и с минимальными потерями энергии. Вследствие вращения газа над поверхностью жидкости перед входом в контактную камеру образуется устойчивая зона разрежения, в которую с поверхности жидкости инжектируется некоторая ее масса в виде мелкодисперсных капель и пленок, образуя вместе с газовыми вихрями слой подвижной пены. Поступающие внутрь камеры капли и пленки жидкости центробежными силами отбрасываются к ее внутренней поверхности, а газовая фаза направленно движется вдоль оси контактной камеры.

Такой характер движения жидкости и газа обеспечивает дополнительное диспергирование частиц жидкости, способствуя интенсификации процесса пенообразования (т.е. процесса образования межфазной поверхности). Благодаря Δ -образной форме поперечного сечения винтовых межлопаточных каналов, расширяющихся в направлении к поверхности жидкости, обеспечивается ее интенсивная инжекция по всей площади входного сечения корпу-

са и равномерное распределение с газовой фазой в объеме образующейся пены. В результате быстрого развития межфазовой поверхности и ее обновления достигается высокая эффективность обработки газа [3]. Частицы жидкости, достигнув внутренней поверхности контактной камеры, укрупняются и в виде отдельных струй стекают в бункер, в то время как поток отработанного газа движется вверх и, проходя сепаратор, освобождается от содержащейся в нем капельной влаги.

В процессе работы устройства осуществляется автоматическое поддержание уровня жидкости в циклоне.

Объем активного пространства в контактной камере аппарата, заполненного двухфазной средой, определяет площадь поверхности соприкосновения газа и жидкости, а также время взаимодействия фаз и, следовательно, интенсивность протекающих процессов. Многие характеристики двухфазного газожидкостного слоя (газосодержание, площадь поверхности контакта, размер отдельных газовых включений и т.д.) по высоте слоя не одинаковы. Кроме того, в двухфазном слое, кроме поступательных движений потоков, имеют место интенсивные турбулентные пульсации фаз различных направлений и интенсивности [4]. Точное математическое описание этих пульсаций весьма сложно и отсутствует даже для однофазной среды [5, 6].

Газ и жидкость в большинстве контактных аппаратов образуют неоднородную дисперсную систему, характеризуемую взаимодействием фаз, т.е. силами межфазного поверхностного натяжения [5]. Несмотря на наличие фундаментальных трудов по гидродинамике двухфазных потоков, в настоящее время не представляется возможным точно описать теоретически процесс пенообразования. В силу неоднородности распределения фаз по сечению потока, особенно в условиях интенсивных вихревых пульсаций фаз, весьма трудно установить характер распределения скоростей и давлений в двухфазном потоке. Большую трудность в изучении структуры динамического двухфазного слоя представляет и анализ количественных характеристик того или иного гидродинамического режима в связи с нечеткостью границ режимов и неустойчивостью их во времени и пространстве. Поэтому гидродинамические режимы изучают применительно к конкретному аппарату с учетом его особенностей.

Основным показателем гидродинамического режима работы аппарата является гидравлическое сопротивление газовому потоку

$$\Delta p = p_{п.н} - p_{п.к} = \Delta p_{п} + \rho_{г} (v_{вх}^2 - v_{вых}^2) / 2,$$

где $p_{п.н}$, $p_{п.к}$ — среднее значение полного давления перемещаемой среды по сечению соответственно на входе и выходе из КДПА; $\rho_{г}$ — плотность перемещаемой среды (газа); $v_{вх}$, $v_{вых}$ — средняя скорость газового потока по сечению соответственно на входе и выходе из КДПА.

Для КДПА с выводом газового потока из выходного патрубка в емкость большого объема или в атмосферу потери давления перемещаемой среды следует определять по разности полных давлений на входе и выходе из КДПА:

$$\Delta p = p_{п.н} - \left(p_a + \frac{\rho_r v_{\text{Вых}}^2}{2} \right) = \Delta p_{п} - \frac{\rho_r v_{\text{Вых}}^2}{2}; \quad \Delta p_{п} = p_{п.н} - p_a,$$

где p_a — атмосферное давление.

Гидравлическое сопротивление сухого КДПА при продувке его воздухом — сумма сопротивлений отдельных его элементов (самого аппарата $\xi_{\text{ап}}$ и сепаратора ξ_c): $\xi_A = \xi_{\text{ап}} + \xi_c$. Так как сепаратор не влияет на процесс обработки газового потока и конструктивные параметры его не зависят от рабочей части аппарата, гидравлические характеристики можно определять только для основной рабочей части аппарата.

Эффективность пылеулавливания в первой (инерционной) ступени очистки зависит от конструктивных параметров рабочей части КДПА, к которым в первую очередь можно отнести относительную величину межкольцевого пространства

$$M_{п} = D/d_{\kappa},$$

где D — диаметр корпуса аппарата; d_{κ} — диаметр контактной камеры КДПА.

Под межкольцевым понимается пространство, предназначенное для прохода газового потока между корпусом и контактной камерой КДПА.

Конструктивное исполнение КДПА оценивается по степени аэродинамического совершенства (по коэффициенту гидравлического сопротивления). Анализ влияния конструктивных параметров рабочей части аппарата на гидродинамический режим его работы, выполненный на основе экспериментального исследования, показывает (рис. 2), что при неизменных гидродинамических условиях гидравлическое сопротивление рабочей части КДПА практически обратно пропорционально относительной величине межкольцевого пространства. С увеличением этой величины до 1,9 наблюдается резкое снижение коэффициента гидравлического сопротивления. Дальнейшее увеличение $M_{п}$ сопровождается незначительным снижением сопротивления. Но при минимальном допустимом $M_{п}$ резко возрастают габариты инерционно-пенного аппарата, в то время как эффективность пылеулавливания повышается незначительно.

На основании результатов исследований установлено, что наиболее рациональным конструктивным решением инерционно-пенного аппарата двухступенчатой очистки является устройство с относительной величиной межкольцевого пространства $M_{п} = 1,9$. Это соответствует и конструктивному решению циклонов НИИОГаз (в частности, ЦН-24).

Таким образом, идентичность конструктивного решения циклонов НИИОГаз и первой ступени сухой инерционной очистки КДПА, а также их агрономических показателей позволили объяснить высокую эффективность пылеулавливания в первой ступени ИПА (улавливание 80–90 % средней и крупной фракции на основании теории циклонной очистки газов). Кроме того, гидравлическое сопротивление в активном сечении контактной камеры сухого КДПА при продувке его воздухом в диапазоне скоростей 7–8 м/с находится в пределах 450–600 Па (рис. 3), что в 2,5 раза ниже, чем для циклонно-пенного аппарата (1200 Па в том же диапазоне скоростей [4]).

Основные процессы, протекающие в КДПА двухступенчатой очистки, несут в общем случае сложный характер. Режим работы КДПА соответствует

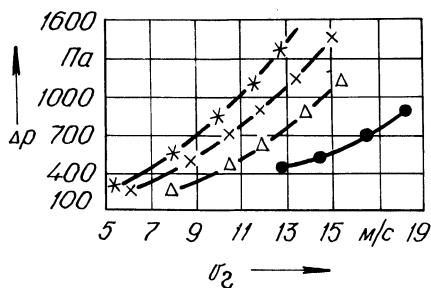


Рис. 3. Зависимость гидравлического сопротивления КДПА от скорости воздуха

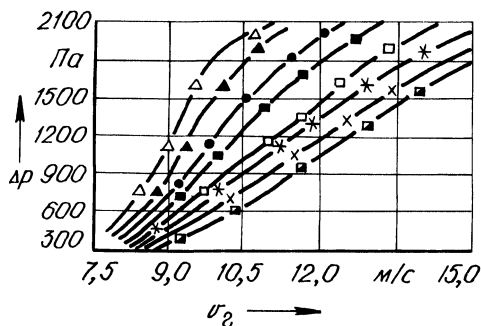


Рис. 4. Зависимость гидравлического сопротивления КДПА от скорости газового потока при различной высоте установки контактной камеры над уровнем жидкости:
 Δ — $H = 100$ мм; \blacktriangle — $H = 110$ мм,
 \bullet — $H = 120$ мм; \blacksquare — $H = 130$ мм;
 \square — $H = 140$ мм; \times — $H = 160$ мм;
 \circ — $H = 170$ мм; $*$ — $H = 150$ мм

скоростям воздуха 7–10 м/с, в два раза превышающим скорости воздуха в циклонно-пенных аппаратах — наиболее производительных аппаратах подобного типа. При высокоинтенсивных процессах обработки газа жидкостью существенную роль играют конструктивные характеристики аппарата, тип закручивателя, его инжектирующая способность.

Интенсивность процесса в инерционно-пенном контактном аппарате, как и в аппаратах смесительного типа, зависит от площади поверхности взаимодействия и времени контакта фаз, которые определяются скоростью поступательного движения двухфазной системы и удельным массовым расходом жидкости. При известном поперечном сечении лопаточных закручивателей активный объем (объем, в котором процессы идут до условного их завершения) зависит от высоты эмульсионно-пенного слоя. Но структура двухфазного газожидкостного потока по высоте неоднородна, как и в сечении контактной камеры при скоростях потока свыше 5 м/с. Это обусловлено вертикальным вращательно-поступательным движением двухфазной среды в объеме контактной камеры. Поэтому было сделано предположение, что газосодержание в динамическом двухфазном слое в рабочем объеме контактной камеры КДПА характеризуется превышением H нижней кромки контактной камеры над уровнем жидкости и линейной скоростью потока в активном сечении контактной камеры: $\varphi_r = f(H, v_r)$. Для обычного контактного способа взаимодействия газа с жидкостью принято, что гидравлическое сопротивление аппаратов подобного типа — это сумма сопротивлений собственно самого аппарата и динамического двухфазного слоя пены [4, 7].

Из графика на рис. 4 видно, что при инжекционно-пенном способе очистки потери давления газовой среды при больших превышениях контактной камеры над уровнем жидкости мокрого аппарата не являются суммой гидрав-

лических сопротивлений сухого аппарата и динамического двухфазного слоя подвижной пены. Это объясняется недостаточной степенью инжекции, а также тем, что вдоль поверхности жидкости (направляющей плоскости) происходит плавное изменение направления движения газового потока.

Общее гидравлическое сопротивление мокрого КДПА в режиме скоростей газового потока в рабочем объеме контактной камеры 7–10 м/с находится в пределах 780–850 Па, т.е. значительно меньше, чем циклонно-пенных аппаратов в том же режиме (1200–1600 Па), при эффективности пылеулавливания, равной 99,9 %.

Исследования показывают, что предлагаемая схема комбинированного двухступенчатого инерционно-пенного аппарата позволяет соединить в одном устройстве принципы и достоинства двухступенчатой пылегазоочистки при значительном снижении энергетических затрат и упрощении конструкции установки.

Список литературы

1. Дьяченко В.Н. Исследование аппарата мокрого пылеулавливания с комбинированной схемой очистки // Охрана воздушного бассейна Волгоград. обл.: Тез. докл. 2 научно-техн. конф. Волгоград, 1983.
2. Дьяченко В.Н. Очистка выбросов производства асфальтобетона // Охрана окружающей среды. Мн., 1982. З. А.с. 637134 (СССР). Пылеуловитель / В.Г. Диденко.
4. Богатых С.А. Циклонно-пенные аппараты. Л., 1978.
5. Кафаров В.В. Основы массопередачи. М., 1972.
6. Кутаталадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. М., 1976.
7. Мухленов И.П., Тарат Э.Я. Пенный режим и пенные аппараты. Л., 1977.

УДК 66.045:631.9:533.6

Н.Д.БАЙЛУК, М.И.КУРПАН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ВОЗДУХА ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ ЗЕРНА В ПЛОТНОМ СЛОЕ

Одним из направлений интенсификации процесса конвективной сушки зерна в плотном слое является увеличение скорости нагретого воздуха, т.е. сушильного агента [1, 2].

В данной работе решается задача определения оптимальной скорости воздуха, обеспечивающей расчетную скорость сушки зерна с минимальными энергозатратами. Для этой цели используется дифференциальное уравнение теплообмена

$$m_3 c_3 dt_3 = -aS (t_a - t_3) d\tau, \quad (1)$$

где m_3 — масса зерна, кг; c_3 — удельная теплоемкость зерна, Дж/(кг·°С); dt_3 — изменение температуры зерна за время $d\tau$, °С; a — коэффициент теплообмена, Вт/(м²·°С); S — площадь поверхности теплообмена, м²; t_a — температура сушильного агента, °С; t_3 — температура зерна, °С.