

УДК 504.3.054

**А.Г. БУТЕНКО**, к.т.н., доцент, **С.Ю. СМЫК**, специалист, **Д.А. МОВИЛА**, бакалавр  
Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

## РАЗДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ПОТОКА ПО ФРАКЦИЯМ В КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ

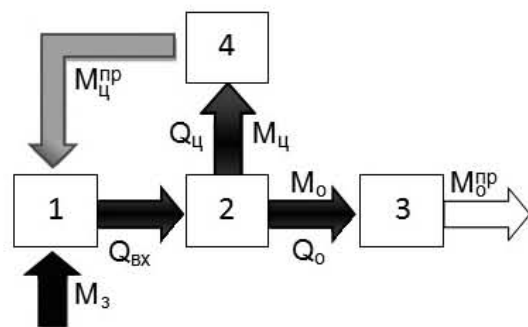
Предложены схема комбинированной системы очистки воздуха от твердых частиц и конструкция аппарата для разделения твердой фазы полидисперсного потока по фракциям. Характеристики разделительного аппарата определены путем численного моделирования.

**комбинированная система очистки, разделительный аппарат, коэффициент улавливания, основной уловитель, уловитель циркуляционного контура**

Эффективность очистки пылегазовых потоков от частиц определяется как типом уловителя, так и свойствами пыли, в частности, фракционным составом. У большинства распространенных в промышленности аппаратов степень очистки снижается с уменьшением размеров улавливаемых частиц. Ярким примером таких аппаратов являются инерционные уловители (циклоны), в принципе работы которых заложен этот недостаток и, следовательно, не может быть полностью устранен. Поэтому общий коэффициент улавливания для них обычно не превышает 0,7–0,85, что не отвечает современным экологическим требованиям. Тем не менее, благодаря другим положительным качествам, циклоны и в настоящее время являются достаточно распространенными. Их замена на более совершенные сдерживается рядом факторов, к числу которых следует отнести, во-первых, высокую стоимость более эффективных аппаратов и высокие эксплуатационные затраты, во-вторых, условия того или иного производства и характеристики пыли, что исключают альтернативу инерционным уловителям.

Пути повышения эффективности работы циклонов конструктивными методами практически исчерпаны, однако степень их улавливания может быть существенно повышена за счет изменения фракционного состава частиц в пылегазовом потоке. Такая возможность реализуется в комбинированной системе очистки (рис. 1), отличительной особенностью которой является то, что захваченная, например, аспирационным зонтом масса частиц ( $M_3$ ) поступает не непосредственно в уловитель, а делится по фракционному признаку в разделителе 2. Поток с тонкими фракциями направляется в уловитель циркуляционного контура 4, а поток с крупными – в основной уловитель 3. Поскольку коэффициент улавливания крупных фракций достаточно высок, проскок массы пыли в окружающую среду ( $M_0^{pp}$ ) незначителен, что и обеспечивает экологиче-

ский эффект. Отметим, что предлагаемая комбинированная система очистки может быть эффективна для улавливания достаточно крупных частиц пыли, для которых обычно используются циклоны. Очевидно, что повышение эффективности улавливания основного уловителя происходит фактически за счет снижения этого показателя аппарата циркуляционного контура, так как коэффициент улавливания мелких фракций наименьший. Однако, поскольку циркуляционный поток поступает не в окружающую среду, а в смешивающий аппарат 1 (эжектор) и далее через разделитель снова на очистку, величина проскока циклона (масса) циркуляционного контура ( $M_4^{pp}$ ) принципиального значения не имеет.



**Рисунок 1 – Принципиальная схема комбинированной системы очистки воздуха:**

1 – смешивающий аппарат (эжектор); 2 – разделитель частиц пыли в потоке воздуха по фракционному признаку; 3 – основной пылеуловитель потока с крупными фракциями (циклон); 4 – пылеуловитель циркуляционного контура

Важнейшим элементом системы является разделительный аппарат. Он должен иметь простую и надежную конструкцию, небольшое гидравлическое сопротивление и обеспечивать такое разделение твердой фазы по фракциям, при котором на основной уловитель поступало бы



возможно больше крупнофракционной массы пыли и как можно меньше мелкофракционной. Аппараты, выполняющие подобные функции (пылеконцентраторы), используются в системах топливоприготовления пылеугольных энергетических котлов [1]. Анализ их конструкции и эксплуатационных характеристик (соотношение масс разделенных фракций) показал, что все они по тем или иным критериям не соответствуют требованиям комбинированной системы очистки.

Из рассмотренных новых конструкций аппаратов выбор сделан в пользу «поворота-разделителя» (рис. 2), который наиболее соответствует перечисленным выше требованиям. Принцип работы состоит в том, что под действием силы инерции траектории крупных частиц смещаются к внешней стенке поворота на 180° и удаляются через щелевое отверстие, а мелкие (более легкие) продолжают движение с остальным потоком (такой характер движения частиц разной величины в фасонных элементах газовых трактов подтвержден экспериментально [2]).

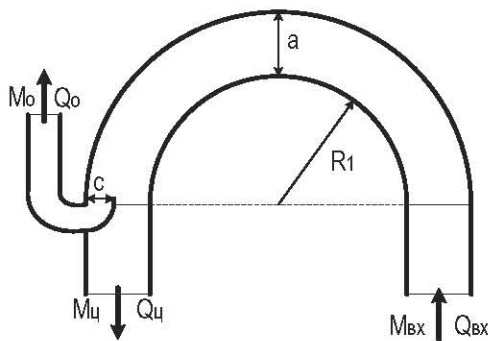


Рисунок 2 – Схема конструкции «поворота-разделителя» (поворот на 180°)

Очевидно, что разделительная способность аппарата во многом определяется гидродинамическими особенностями течения, которые исследовались путем численного моделирования с помощью прикладного пакета SOLID WORKS COSMOSFLO: на основе k – ε модели турбулентности решались дифференциальные уравнения движения [3].

Предварительно методом анализа размерностей [4] определены критерии моделирования

$$\pi_1 = \frac{R_1}{a}, \quad \pi_2 = \frac{b}{a}, \quad \pi_3 = \frac{c}{a}, \quad \pi_4 = \frac{\mu}{\rho v_{вх} b} = \frac{1}{Re},$$

где b – поперечный размер поворота;

ρ и μ – плотность и динамическая вязкость газа-носителя;

v<sub>вх</sub> – среднерасходная скорость на входе в поворот.

Для сокращения объема вычислительных работ принимались  $\pi_1 = \pi_2 = 2 = \text{const}$  (a = 200 мм, b = R<sub>1</sub> = 400 мм).

Числа подобия  $\pi_3 = 0,1; 0,2; 0,3$  (c = 20; 40; 60 мм),  $1/\pi_4 = 8,5 \cdot 10^{-6}; 5,31 \cdot 10^{-6}; 4,25 \cdot 10^{-6}; 3,54 \cdot 10^{-6}$  (v<sub>вх</sub> = 5; 8; 10; 12 м/с). В качестве граничных условий задавалась скорость на входе в аппарат и давление на выходе из него (одинаковое для основного и циркуляционного тракта).

Расчеты показали, что деление газа-носителя в аппарате на основной расход Q<sub>0</sub> и расход циркуляционного контура Q<sub>ц</sub> зависит от π<sub>3</sub> и при Re > 1,88 · 10<sup>5</sup> не зависит от скорости течения (рис. 3). При этом Q<sub>0</sub>/Q<sub>вх</sub> < c/a, что объясняется смещением максимума скорости течения газа в сторону внутренней стенки криволинейного канала.

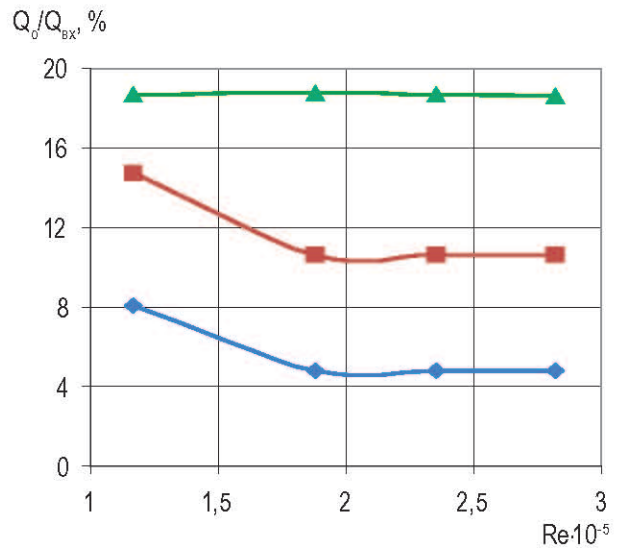


Рисунок 3 – Зависимость относительного объемного расхода в основной пылеуловитель от числа Рейнольдса: ▲ – π<sub>3</sub> = 0,3; ■ – π<sub>3</sub> = 0,2; ◆ – π<sub>3</sub> = 0,1

Разделение твердой массы по фракциям также определялось путем численного моделирования, при котором твердые частицы вынужденно считаются сферическими и их возможное взаимодействие не учитывается. Однако, как показывают результаты экспериментальных исследований [1], при напорном течении форма частиц мало влияет на их траектории.

На рис. 4 представлены зависимости коэффициента разделения на основной уловитель  $\eta_0 = M_0/M_{вх}$  от размеров твердых частиц Δ, где M<sub>вх</sub> и M<sub>0</sub> – секундные массы (массовая скорость) пыли данного размера, входящей в разделитель и поступающей, соответственно, на основной уловитель, для π<sub>3</sub> = 0,2,  $1/\pi_4 = 4,25 \cdot 10^{-6}$ . Из графиков видно, что в зависимости от плотности материала частиц существует граничное значение Δ, при котором η<sub>0</sub> достигает единицы, т.е. вся масса данной фракции поступает в основной уловитель. Это позволяет так организовать разделение массы по фракциям, чтобы в основной уловитель поступали в основном те фракции, эффективность улавливания которых близка к 100 %.

Тонкодисперсная пыль при этом направляется в пылеуловитель (циклон) циркуляционного контура и улавливается за счет его многократного прохождения.

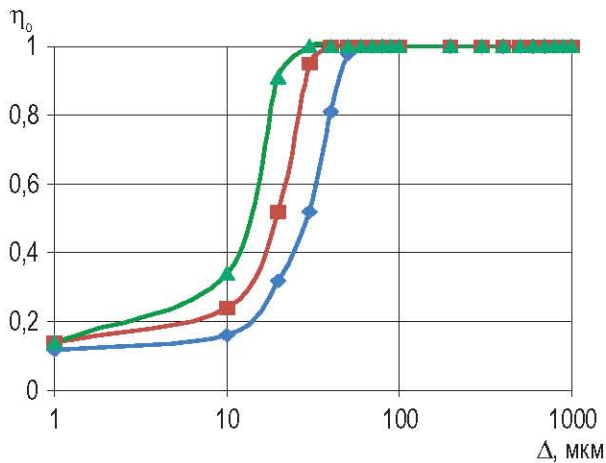


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента разделения от размеров частиц:

◆ –  $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$ , ■ –  $\rho = 2230 \text{ кг/м}^3$ , ▲ –  $\rho = 4505 \text{ кг/м}^3$

Исследования проводились по заказу фирмы ООО «Орга Юг» (г. Одесса) в рамках разработки системы очистки воздуха, отбираемого из помещения дробилки строительных материалов – продуктов демонтажа старых жилых и промышленных строений. Результаты проектных расчетов системы очистки, в качестве разделительного элемента которой использовался поворот на  $180^\circ$ , а уловителей – два циклонных аппарата, позволяют сделать следующие выводы:

- замена обычной схемы очистки на комбинированную приводит к снижению массы пыли, выбрасываемой в атмосферу, приблизительно в 5 раз;
- поскольку эффективность уловителя циркуляционного контура невысока, после прекращения работы дробилки (выделения пыли) системе необходимо некоторое время на «выбег», в течение которого будет

уловлена мелкофракционная пыль циркуляционного контура; газовый тракт на основной уловитель при этом целесообразно перекрывать;

- модернизация системы очистки не требует значительных затрат, а ее эксплуатация – специальной квалификации персонала.

Таким образом, предложенный разделитель отвечает требованиям комбинированной системы очистки. Он имеет исключительно простую конструкцию, что способствует его надежной работе, невысокое гидравлическое сопротивление и необходимые характеристики разделения массы по фракциям. Рассмотренная система очистки позволяет существенно снизить выброс твердых частиц в атмосферу, при этом монтаж не требует значительных капиталовложений и в большинстве случаев может быть осуществлен силами обслуживающего персонала. Данную систему очистки целесообразно применять для небольших объектов, в которых использование дорогостоящих уловителей экономически нецелесообразно.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маслов В.Е. Пылеконцентраторы в топочной технике / В.Е. Маслов. – М. : Энергия, 1977. – 207 с.
2. Певнев А.О. Экспериментальное исследование распределения угольной пыли в криволинейных воздушно-пылевых потоках / А.О. Певнев // Обогащение неметаллических полезных ископаемых. – Свердловск, 1976. – Вып. 2. – С. 101–105.
3. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / [Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. и др.]. – СПб. : ВХВ–Петербург, 2005. – 800 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – [6-е изд., перераб.]. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 840 с.

Поступила в редакцию 07.09.2009

Запропоновані схема комбінованого очищення повітря від твердих частинок і конструкція апарата для розділення твердої фази полідисперсного потоку за фракціями. Шляхом числового моделювання визначені характеристики апарата.

The scheme of the combined air cleaning system against solid particles and the design of the device for dividing solid phase of polydisperse stream into fractions are proposed. Performance characteristics of the device are defined by numerical modelling.