

*Тишин Р.А., Попов А.А., Пархоменко К.Г.  
Научные руководители – Мнухин А.Г., Гого В.Б.*

### ОБОСНОВАНИЕ СРЕДСТВ ОХРАНЫ ТРУДА ПО ФАКТОРУ ПЫЛИ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО КОМПЛЕКСА ШАХТЫ

Особой проблемой охраны труда в условиях угольных шахт является борьба с выбросами пыли главных вентиляторных установок, от которых в течение суток в среднем поступает в воздух до 1,5 т пыли, создавая устойчивый пылевой фон шахты в виде «техногенного пылевого колпака», накрывающего поверхностный комплекс шахты. К настоящему времени нет эффективных средств борьбы с пылью вентиляционных выбросов, что вызвало необходимость исследований и обоснование технических решений для гидродинамического подавления пыли выбросов главной вентиляторной установки шахты на основе импульсно-волновых эффектов.

Прототипом диффузор-конфузорной трубы (ДКТ), защищённой авторским свидетельством [1], позволяющей реализовать импульсно-волновые эффекты в процессах улавливания частиц пыли каплями жидкости, является труба Вентури, которая применяется в скрубберах для очистки газов от пыли диспергированной водой [2]. Гидравлическое сопротивление скруббера Вентури растёт с увеличением расхода жидкости и зависит от способа подачи жидкости в трубу. При одних и тех же значениях удельного расхода жидкости и скорости очищаемого газа гидравлическое сопротивление бесфорсуночной трубы - распылителя Вентури ниже, чем трубы с форсунками. Это объясняется худшим дроблением капель по течению потока, что ведёт к снижению пылеулавливающей способности скруббера с форсунками.

Увеличение относительной скорости газа и жидкости до 40 м/с с целью улучшения каплеобразования не обеспечивает достаточного времени контакта между каплями жидкости и частицами пыли. К тому же завышения скорости между компонентами потока способствует «проскальзыванию» частиц пыли мимо жидких капель без эффекта улавливания, т.е. внедрения пыли в каплю или обволакивания каплей частицы пыли. Этот недостаток гидродинамического процесса трубы Вентури устраняет диффузор-конфузорная труба, которая создает гидропульсирующее перемещение потока и качественно изменяет взаимодействие – поглощение частицы пыли каплей жидкости.

Проведем качественное исследование процесса изменения параметров газожидкостного потока при переходе из диффузорной части канала в конфузорной и наоборот. Будем считать, что поток одномерный, а процесс перехода (течения) потока из одной части трубы в другую адиабатный. Для описания перемещения потока применим уравнения энергии и однородности потока в следующих соотношениях параметров:

$$\frac{1}{U} \frac{du}{dx} = \alpha \frac{1}{S} \frac{dS}{dx}; \quad (1.1)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} = \beta \frac{1}{S} \frac{dS}{dx}; \quad (1.2)$$

$$\frac{1}{p} \frac{dp}{dx} = \gamma \frac{1}{S} \frac{dS}{dx}; \quad (1.3)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  - коэффициенты, зависящие от характера работы;

$U, \rho, p$  - соответственно, скорость, плотность и давление потока в данном сечении;

$x$  - координата по оси потока;

$S$  - площадь поперечного сечения потока.

Анализируя уравнения (1.1 - 1.3), приходим к выводу о следующих закономерностях, которые проявляются при течении потока с диффузор-конфузорной конфигурацией канала:

1) в расширяющейся части трубы (канала), т.е. в диффузоре происходит торможение потока, т.к.

$$\frac{dS}{dx} > 0; \quad \frac{dU}{dx} < 0; \quad (1.4)$$

2) в конфузоре поток ускоряется, что следует из соотношения:

$$\frac{dS}{dx} < 0; \quad \frac{dU}{dx} > 0; \quad (1.5)$$

3) изменения давления в потоке обратные изменениям скорости, т.е. давление в диффузоре возрастает, а давление в конфузоре убывает, т.к.

$$\frac{dS}{dx} > 0; \quad \frac{dp}{dx} > 0; \quad (1.6)$$

$$\frac{dS}{dx} < 0; \quad \frac{dp}{dx} < 0. \quad (1.7)$$

Соотношения (1.1-1.7) дают основания сделать вывод, что гидродинамической трубе, состоящей из диффузор-конфузорных участков, при течении потока происходит колебание давления, что порождает продольную импульсную волну.

Компоненты газожидкостного потока - частицы пыли и капли жидкости перемещаются газом при знакопеременном градиенте давления в потоке, что вызывает дополнительные инерционные столкновения капель жидкости и частиц пыли [3]. Волновой характер движения компонентов создает в диффузоре интенсивные вихри, в зонах которых происходят активные столкновения частиц пыли и капель жидкости, что увеличивает время их взаимодействия и повышает эффективность слияния. Значительный интерес представляет распределение давления и скорости в потоке для вертикального положения диффузор-конфузорной трубы (рис. 1.1).

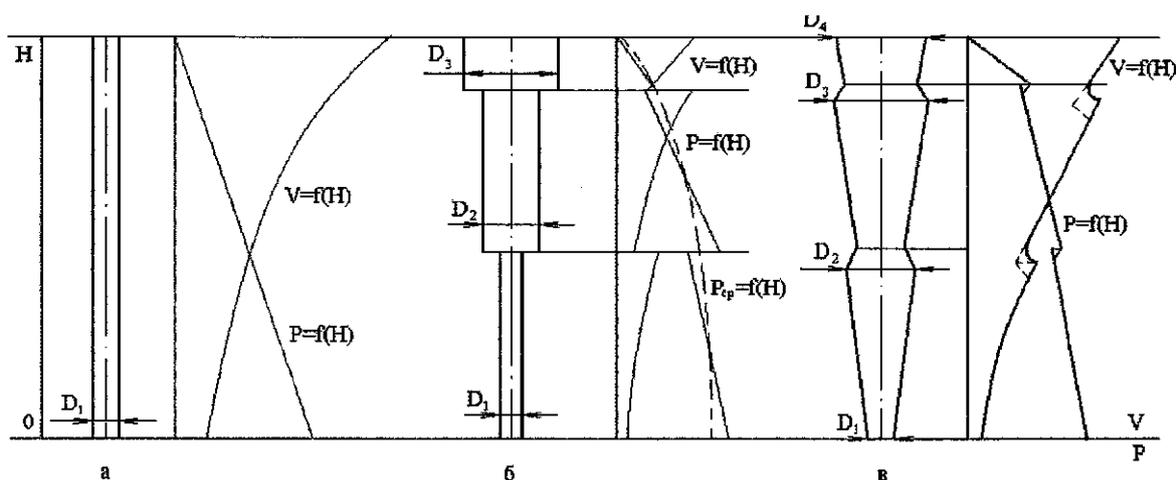


Рис. 1.1. Распределение давления и скорости по длине гидродинамической трубы установки очистки газов: а) цилиндрическая труба, б) ступенчатая цилиндрическая труба, в) диффузор-конфузорная труба.

Возвратные течения жидкости по стенкам конфузора при вертикальном подъеме потока срываются пульсирующими воздействиями газа, что возвращает капельную жидкость в процесс активного поглощения частиц пыли.

Особенно интенсивно это происходит в сечениях перехода от конфузорной части трубы к диффузорной.

Волновое, пульсирующее перемещение потока снижает эффект «проскальзывания» частиц пыли мимо капель жидкости, что повышает эффективность улавливания пыли.

Анализируя эпюры распределения давления и скорости в трубах разных конфигураций, приходим к выводу, что диффузор-конфузорная труба создает наиболее рациональное соотношение между взаимосвязанными параметрами, при которых скорость потока приближается к постоянной, а не увеличивается, что снижает гидравлические потери на трение при течении потока.

На рис. 1.2 показана схема разработанной диффузор-конфузорной трубы 1, состоящей из ряда ступеней с увеличивающимся по вертикали средним проходным сечением между ступенями. Смесительная часть 2 погружена в жидкость и сообщается с трубой 3 для подачи запыленного газа. Каждая ступень трубы выполнена в виде сопряженных конфузора 4 и диффузора 5.

Действие трубы в процессе очистки газа от пыли жидкостью происходит следующим образом. При подаче газа по трубе 3 (по вакуумной или напорной схемам действия гидродинамической установки по очистке газа) в смесительной части 2 образуется смесь газа и жидкости (или воды и поверхностно активного вещества), которая за счет энергии газа и потенциальной энергии жидкости перемещается в трубу 1 и далее в диффузор-конфузорные части 5 и 4. Возрастающая скорость потока в конфузоре 4 снижается в диффузоре 5, что соответствует преобразованию кинетической энергии газа в потенциальную.

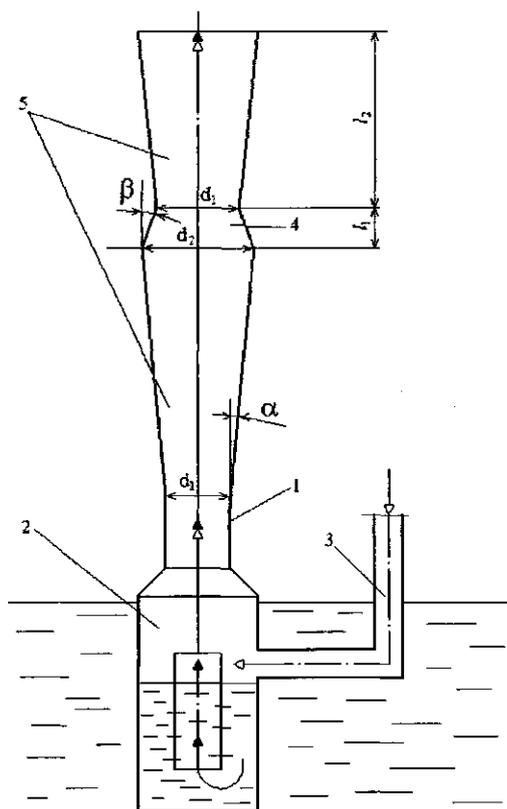


Рис. 1.2. Схема диффузор-конфузорной трубы

Перемещение потока из диффузора в конфузор следующей ступени повторяет процесс трансформации энергии. Это вызывает продольную пульсацию потока при переходе из одной части трубы в другую, что создает продольный волновой процесс, активизирующий турбулентность и вынужденные столкновения частиц пыли с каплями жидкости. Интенсивные вихреобразования пристеночных областей диффузора, расширяющиеся по оси потока и в поперечном направлении, сменяются обратными процессами сжатия вихревых зон в конфузорной части трубы, что увеличи-

вает частоту столкновений капель жидкости и частиц пыли, а, следовательно, увеличивает вероятность захвата частицы пыли каплей жидкости.

В конфузорной части происходит уплотнение потока и образование пристеночных вихрей, которые сжимаются по течению потока. Сжатие конфузорных вихрей вызывает (в соответствии с законом сохранения момента количества движения) увеличение угловой скорости масс частиц пыли и капель жидкости, что увеличивает кинетическую энергию вращения компонентов потока в вихре и условия их столкновения во время импульсов сжатия. Это повышает общую эффективность процесса очистки газов от пыли в диффузор-конфузорной трубе гидродинамической установки.

Учитывая низконапорный режим течения потока, рациональными с позиций практики являются конфигурации трубы со следующими геометрическими параметрами (см. рис. 1.2): для диффузора – диаметр входного сечения  $d_1$ , а угол раскрытия  $\alpha$  равный  $(5...7)^\circ$  при длине  $l_2$  равной

$$l_2 = 0.5(d_2 - d_1)(\operatorname{tg}\alpha)^{-1}; \quad (1.8)$$

для конфузора - диаметр входного сечения  $d_2$ , а угол сужения  $\beta$  равной  $(12...15)$  при длине  $l_1$ :

$$l_1 = 0.5(d_2 - d_1)(\operatorname{tg}\beta)^{-1}. \quad (1.9)$$

Принимая, что скорость газа, поступающего на очистку от пыли в гидродинамическую установку, не превышает 20 м/с, принимаем, что диаметр входного сечения диффузора

$$d_1 = \sqrt{0.7Q}, \quad (1.10)$$

где  $Q$  - объемный расход газа, м<sup>3</sup>/с.

Компоновочную структуру диффузор-конфузорной трубы можно составить в следующей последовательности по направлению потока при вертикальном течении (см. рис 1.2): смесительная часть - конфузор 2, цилиндрический участок 1 выравнивания поля скоростей компонентов потока, диффузор первой ступени, переходящим в диффузор и участок перехода в центробежный каплеотделитель (на рис. 1.2 не показан).

Определенный интерес для разработки диффузор-конфузорной трубы имеет оценка величины гидравлического сопротивления как падения давления потока «газ - капли жидкости - частицы пыли» по всем ступеням, т.е.

$$\Delta\rho = 0.5\langle V \rangle^2 \langle \rho \rangle (\xi_1 + \xi_2 + \xi_3), \quad (1.11)$$

где  $\langle V \rangle$  - средняя скорость потока;

$\langle \rho \rangle$  - средняя плотность потока;

$\xi_1, \xi_2, \xi_3$  - соответственно, коэффициенты гидравлического сопротивления цилиндрических, конфузорных и диффузорных участков.

Для ориентировочного расчета гидравлического сопротивления диффузор-конфузорной трубы по (1.11) воспользуемся аналогичными параметрами прототипа, которые представлены в [2], а именно, в средних величинах:  $\xi_1 = 0.18, \xi_2 = 0.34, \xi_3 = 0.11$ . Применяя величину средней скорости потока 20 м/с, получаем ожидаемое гидравлическое сопротивление 165 Па, что составляют

не более 10% от давления низконапорных нагнетательных средств (дымососов) в газоотводящих системах.

Таким образом, указанные параметры диффузор-конфузорной трубы гидродинамического устройства очистки газа (воздуха) от пыли, являются базой для проработки всей гидродинамической системы защиты от пыли в конкретных условиях действия источника пыли в угольном производстве.

***Література***

1. А.с. №1504375 СССР / Гейер В.Г., Малеев В.Б., Надеев Е.И., Гого В.Б. (СССР). – опубл. 1989, Бюл. №32.
2. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник / [Под общ. ред. В. А., Григорьев, В. М. Зорин.]. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 588с.
3. Теория и практика охраны труда на угольных шахтах / [Медведев Э. Н., Мартовицкий В. Д., Кашуба О. И. и др.]. – Макеевка, МакНИИ : ООО «Промдрук», 2006. – 600 с.