

УДК 628.511

**С. М. ОРЛОВ, Б. Р. РОМАНЕНКО, А. Я. ОРЛОВА**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОНОВ

**Аннотация.** Защита атмосферы – социальная и экономическая проблема, неразрывно связанная с задачей создания комфортных условий для жизни и работы человека. Во многих промышленных выбросах содержатся ценные продукты, которые безвозвратно теряются. Поэтому очистка промышленных выбросов имеет санитарное и экономическое значение. При очистке газа от пыли наибольшее распространение получили циклоны, которые, как правило, устанавливаются в качестве предварительной ступени очистки. При этом аппараты тонкой очистки рассчитываются на весь объем газа. В настоящее время не исследован вопрос концентрации пыли и газодинамические процессы, протекающие в выхлопной трубе. Данные исследования позволят более рационально использовать энергию, затраченную на очистку газов в циклонах.

**Ключевые слова:** пылеуловитель, циклон, пыль, сила тяжести, сила Архимеда, центробежная сила.

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Техника обеспыливания характеризуется большим разнообразием конструкций и форм исполнения обеспыливающего оборудования.

Циклоны являются наиболее характерными представителями сухих инерционных пылеуловителей, которые, как правило, имеют простую конструкцию, обладают большой пропускной способностью и несложны в эксплуатации. Ввиду этих преимуществ циклоны получили широкое распространение [1, 2]. Однако у циклонов есть и существенный недостаток, они не улавливают мелкодисперсную пыль  $d < 20$  мкм. Имеется множество теоретических и экспериментальных работ, направленных на повышение эффективности циклонов. На их базе разработано большое количество конструкций циклонов, однако добиться существенного повышения эффективности не удалось, поэтому циклоны, как правило, используются для предварительной (грубой) очистки газов от пыли перед аппаратами тонкой очистки. Аппараты второй (тонкой) ступени очистки (рукавные, электрофильтры и др.) требуют значительно больших капитальных и эксплуатационных затрат, поэтому вопрос совершенствования циклонов, с целью уменьшения объемов газов, направляемых на аппараты второй ступени очистки, является актуальным.

В настоящее время основное направление работ выбрано на исследование нисходящего вихревого потока и его сепарационных свойств. Восходящий поток исследован недостаточно. Данный подход не рационален, поскольку на восходящий вихревой поток расходуется не менее 50 % энергии, затраченной на весь циклон. Не исследован вопрос концентрации пыли в восходящем потоке и газодинамические процессы, протекающие в нем. Проведение данных исследований является актуальной задачей, поскольку позволит значительно повысить энергоэффективность циклонов.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование газодинамических процессов и концентрация пыли в восходящем вихревом потоке циклона.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для определения концентрации пыли в восходящем вихревом потоке циклона необходимо проанализировать силы, действующие на частицу пыли в восходящем вихревом потоке циклона.

При движении частицы в выхлопной трубе циклона на неё действуют следующие силы (рис. 1):

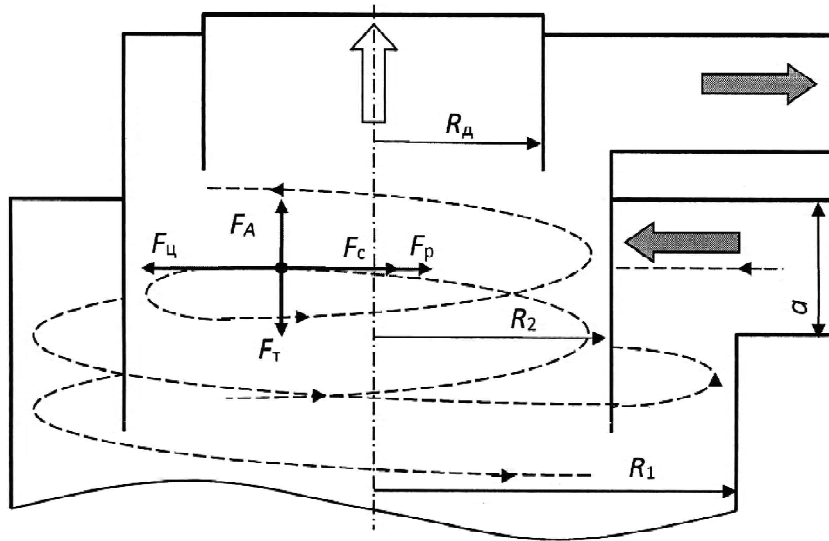


Рисунок 1 – Силы, действующие на частицу пыли в выхлопной трубе циклона.

- $F_{ц}$  – центробежная сила;
- $F_{с}$  – сила сопротивления среды;
- $F_{р}$  – сила, возникающая под действием радиального давления газа;
- $F_{т}$  – сила тяжести;
- $F_{А}$  – сила Архимеда.

Необходимо все вышеперечисленные силы подвергнуть ориентировочному анализу на вопрос их количественного влияния на положение частицы в восходящем вихревом потоке.

1. Сила тяжести, действующая на частицу:

$$F_{т} = m_{ч}g. \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

Сравним силу тяжести с центробежной силой. Возьмем наиболее распространенные условия: циклон ЦН11-600; скорость во входном патрубке 20 м/с, тогда

$$\frac{F_{т}}{F_{ц}} = \frac{m_{ч}g}{m_{ч}V_{т}^2 / R} = \frac{Rg}{V_{т}^2} \approx 0,00735. \quad (2)$$

Таким образом, центробежная сила значительно превосходит силу тяжести. Таким образом, силой тяжести при рассмотрении движения частиц можно пренебречь. Это объясняет возможность работы циклона и в перевернутом положении.

2. Сила Архимеда значительно уступает по величине не только центробежной силе  $F_{ц}$ , но и силе тяжести  $F_{т}$ , поэтому силой Архимеда можно пренебречь:

$$\frac{F_{А}}{F_{ц}} = \frac{Q_{ч}\rho_{ч}}{Q_{ч}\rho_{ч}V_{т}^2 / R} = \frac{\rho_{г}R}{\rho_{ч}V_{т}^2} \approx 0,2 \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где  $Q_{ч}$  – объем частицы пыли.

Проведенный анализ сил, действующих на частицу пыли в выхлопной трубе циклона, показывает, что учитывать необходимо действие на частицу трех сил: центробежная сила  $F_{ц}$ , которая старается переместить частицу на периферию вихревого потока;  $F_{с}$  – сила сопротивления среды перемещению частицы;  $F_{р}$  – сила градиента давления, которая стремится переместить частицу в центр выхлопной трубы циклона. Результирующая сила, действующая на частицу пыли в выхлопной трубе циклона, равна:

$$\Sigma F = (F_{ц} - F_{р}) - F_{с}. \quad (4)$$

Поскольку  $\Sigma F = 0$ , тогда окончательно имеем баланс сил, действующих на частицу:

$$F_c = (F_{\text{ц}} - F_p). \quad (5)$$

3. Определение значения центробежной силы.

Восходящий поток в циклоне вращается по закону твердого тела с постоянной угловой скоростью. Радиус вихря у разных авторов принимается разный. Так у Барта [3] радиус восходящего вихря в циклонах равен радиусу выхлопной трубы  $R_2$ , по Тер-Линдену равен  $2/3R_2$  [5], по Стейрманду он равен  $1/2R_2$  [4].

Несмотря на разницу мнений, радиус восходящего вихря в циклоне в подавляющем большинстве случаев принимается равным радиусу выхлопной трубы  $R_2$ . Данное утверждение было проверено авторами экспериментально и получило подтверждение. Поскольку восходящий вихрь вращается как твердое тело с постоянной угловой скоростью, то целесообразней вместо тангенциальной скорости пользоваться угловой. Угловая скорость равна:

$$\omega = \frac{V_{\text{т.в.вих}}}{R_2}, \quad (6)$$

где  $\omega$  – угловая скорость восходящего вихря,  $\text{с}^{-1}$ ;  
 $V_{\text{т.в.вих}}$  – тангенциальная скорость на внешней границе восходящего вихря (рис. 2), м/с;  
 $R_2$  – радиус выхлопной трубы.

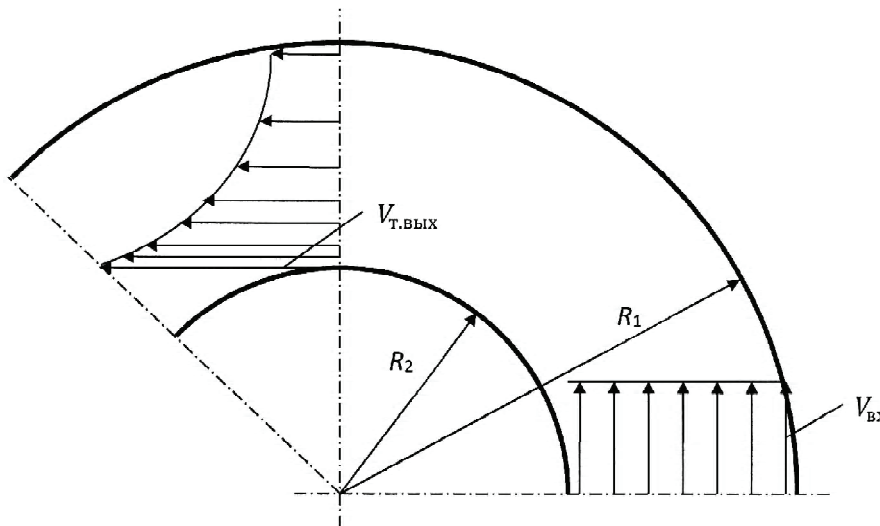


Рисунок 2 – Эпюры скоростей плоского потенциального течения в криволинейном потоке.

Во вращающихся потоках, ограниченных цилиндрическими поверхностями с радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , при реальных вязких газах (рис. 2), распределение скоростей выражается уравнением [6]:

$$VR^n = k = const. \quad (7)$$

Большинство исследователей циклонов (Барт, Даниельс, Девис, Пирумов и др.) принимают  $n = 1$ . В подавляющих случаях все размеры циклона приводятся кратными его диаметру. Тогда распределение скорости в криволинейном канале на внешней границе восходящего вихря будет равно:

$$V = \frac{V_{\text{вх}}(R_1 - R_2)}{R \ln \frac{R_1}{R_2}}, \quad (8)$$

$$k = VR^1 = \frac{V_{\text{вх}}(R_1 - R_2)}{\ln \frac{R_1}{R_2}}, \quad (9)$$

где  $V_{\text{вх}}$  – скорость газа во входном патрубке, м/с.

Размеры циклонов, как правило, приводятся кратными диаметру циклона, тогда имеем тангенциальную скорость на границе выхлопной трубы:

$$V_{m.вых} = \frac{V_{ex}(1-K_2)}{K_2 \ln \frac{1}{K_2}}, \quad (10)$$

где  $K_2$  – отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона;  
 $V_{m.вых}$  – тангенциальная скорость на границе восходящего вихря, м/с.

Постоянная  $k$  соответственно запишется в виде:

$$k = \frac{V_{ex} D (1-K_2)}{\ln \frac{1}{K_2}}, \quad (11)$$

где  $D$  – диаметр циклона, м.

Восходящий вихрь характеризуется показателем  $n = -1$  и скорости распределены как в твердом теле. По аналогии с вращением твердых тел постоянная  $k$  и есть угловая скорость вращения потока  $\omega$ . При  $\omega = \text{const}$  течение является вихревым, поскольку все частицы потока вращаются вокруг собственных осей. Согласно [6] для сферических частиц при определении силы сопротивления в криволинейных потоках можно использовать формулу Стокса, полученную для прямолинейных потоков.

Тогда угловая скорость внутреннего вихря циклона в зависимости от скорости во входном патрубке равна:

$$\omega = \frac{2V_{ex}(1-K_2)}{DK_2^2 \ln \frac{1}{K_2}}. \quad (12)$$

Как видно из зависимости (12), угловая скорость в восходящем вихре циклона зависит прямо пропорционально от скорости во входном патрубке  $V_{ex}$ , отношения диаметра циклона к диаметру выхлопной трубы  $K_2$ , и обратно пропорциональна диаметру циклона.

Данная зависимость справедлива для всех циклонов любых конструкций.

Тогда центробежная сила в данном случае равна:

$$F_{ц} = \frac{\pi \rho_{ч} d_{ч}^3 \omega^2 R}{6}, \quad (13)$$

где  $R$  – радиус траектории частицы, м;  
 $\rho_{ч}$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;  
 $d_{ч}$  – диаметр частицы, м.

4. Сила, возникающая за счет радиального градиента давления газа.

Восходящий вихрь в циклоне представляет собой вихревой цилиндр.

Если в области циркуляционного течения распределение давления для несжимающейся жидкости определяется уравнением Бернулли, то в вихревой области распределение давления определяется из условия равновесия вращающихся частиц. На такую вращающуюся частицу  $A$  (рис. 3) действует две уравновешивающие друг друга силы:

С одной стороны, центробежная сила, равная [7]:

$$dF_{ц} = \rho_e R^* d\theta \omega^2 R^*. \quad (14)$$

С другой стороны, сила  $dP$ , обусловленная перепадом давления в вихревом цилиндре и равная:

$$dP = R^* d\theta dp. \quad (15)$$

Приравняв эти силы (14 и (15), получаем:

$$dp = \rho_e \omega^2 R^* dR^*. \quad (16)$$

Проинтегрировав выражение (16) от  $R^*$  до  $R_2$  (рис. 4, 5), получим:

$$p_2 - p^* = (\rho_e / 2) (\omega^2 R_2^2 - \omega^2 R^{*2}), \quad (17)$$

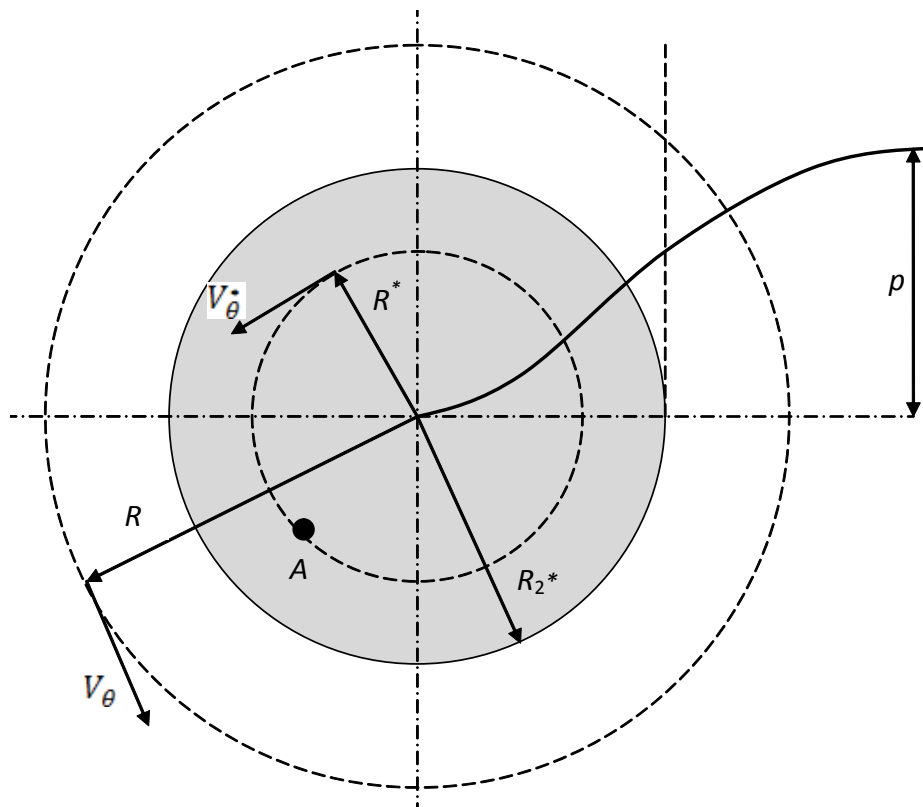


Рисунок 3 – Распределение давления в плоском вихре.

или

$$p^* = p_2 - \left(\frac{\rho_c}{2}\right)(V_{\theta 2}^2 - V_{\theta}^{*2}), \quad (18)$$

где  $p_2$  и  $V_{\theta 2}$  – соответственно давление и скорость на внешней границе вихря при  $R^* = R_2$ .

На внешней границе вихря можно воспользоваться уравнением Бернулли

$$p_2 = p_\infty - \frac{\rho_c V_{\theta 2}^2}{2}, \quad (19)$$

где  $p_\infty$  – давление на бесконечно удаленном расстоянии от оси вихря, где  $V_\theta = 0$ .

Подставив (19) в (18), тогда

$$p^* = p_\infty - \frac{\rho_c}{2(2V_{\theta 2}^2 - V_{\theta}^{*2})} = p_\infty - \rho_c \omega^2 R_2^2 \left(1 - \frac{R^*}{2R_2}\right). \quad (20)$$

В центре вихря  $V_\theta^* = 0$  и тогда давление в центре вихря будет описываться выражением:

$$p_4 = p_\infty - \rho_c V_{\theta 2}^2 = p_\infty - \rho_c \omega^2 R_2^2. \quad (21)$$

Подключение циклона в вентиляционной сети может быть самым разнообразным, и поэтому значение давления на границе восходящего вихревого потока  $p_1$  может быть самым разнообразным. Нас интересует не абсолютное значение давления на границе восходящего вихревого потока, а характер распределения давления по поперечному сечению выхлопной трубы. Зная характер распределения давления по поперечному сечению выхлопной трубы циклона, мы можем определить силу, обусловленную градиентом давления, действующую на частицу пыли. Таким образом:

$$p^* = -(\rho_c / 2)(\omega^2 R_2^2 - \omega^2 R^{*2}). \quad (22)$$

Поскольку, размеры циклонов НИИОГаза приводятся кратными диаметру циклона, тогда имеем значение распределения давления по сечению выхлопной трубы:

$$p^* = -\omega^2 0,25D^2 K_2^2 (\rho_g / 2)(1-n^2). \quad (23)$$

Как видно из формулы (23), распределение статического давления в поперечном сечении выхлопной трубы циклона зависит от угловой скорости, плотности газа и конструктивных параметров циклона. При этом  $n$  может принимать значения  $n \div 1$ . В данном случае  $n$  обозначает долю текущего радиуса выхлопной трубы, который равен:

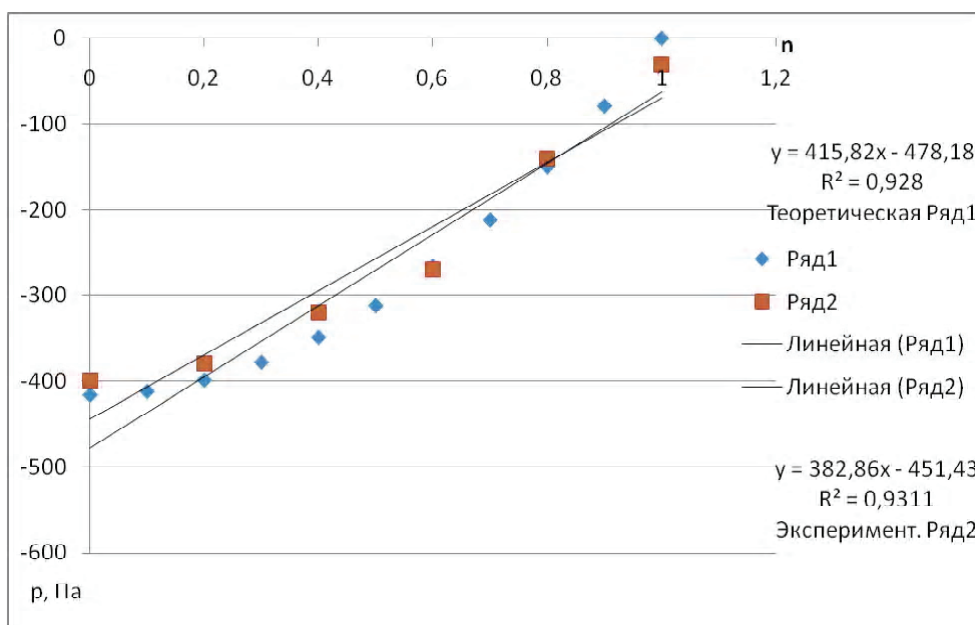
$$R_2 = 0,5DK_2. \quad (24)$$

Подставив в формулу (23) значение угловой скорости восходящего вихря циклона (12), а также совместив ось циклона с началом координат, получим:

$$p^* = -\frac{\rho_g V_{ex}^2 (1-K_2)^2}{2K_2^2 \left(\ln \frac{1}{K_2}\right)^2} (1-n^2). \quad (25)$$

Как видно из (25) распределение статического давления в поперечном сечении выхлопной трубы циклона зависит от плотности газа, скорости во входном патрубке и отношения диаметра выхлопной трубы циклона к его диаметру и абсолютно не зависит от диаметра циклона.

На рис. 4 показана зависимость распределения статического давления в поперечном сечении выхлопной трубы циклона. В теоретическом и экспериментальном исследованиях использовался циклон НИИОГаза типа ЦН11-300. Как показывают приведенные зависимости, данные по результатам теоретических исследований хорошо совпадают с экспериментальными данными. Максимальное расхождение не превышает 8 %. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований были аппроксимированы линейными функциями. Величины достоверности аппроксимации  $R^2$  составляют вполне приемлемую для практических расчетов точность, при теоретических исследованиях  $R^2 = 0,928$ , а для экспериментальных  $R^2 = 0,9311$ .



**Рисунок 4** – Зависимости распределения статического давления по поперечному сечению выхлопной трубы: теоретическая – ряд 1; экспериментальная – ряд 2.

Таким образом, радиальное ускорение в поперечном сечении выхлопной трубы циклона равно:

$$a_u = -\frac{dp}{\rho_g dn}. \quad (26)$$

Поскольку радиальный градиент давления в поперечном сечении выхлопной трубы циклона аппроксимирован линейной функцией, которая с достаточной степенью достоверности  $R^2 = 0,928$  показывает, что для практических результатов нелинейную функцию (26) можно заменить линейной. Тогда ускорение по всему радиусу будет постоянным и равным:

$$a_u = \frac{\Delta p}{\rho_c R_2} = \frac{\Delta p}{0,5 \rho_c K_2 D}, \quad (27)$$

где  $\Delta p$  – разность давлений у внутренней стенки выхлопной трубы и ее центром, Па.

Значение разности давления у внутренней стенки выхлопной трубы и ее центром  $\Delta p$  можно определить, решив уравнение (25) при  $n = 0$ , тогда:

$$\Delta p = \frac{\rho_c V_{ex}^2 (1 - K_2)^2}{2 K_2^2 \left( \ln \frac{1}{K_2} \right)^2}. \quad (28)$$

Формула (28) показывает, что перепад давления между внутренней стенкой выхлопной трубы и осью циклона зависит прямо пропорционально от скорости во входном патрубке и отношения диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона  $K_2$ . Данная зависимость справедлива для циклонов любой конструкции.

Подставив (28) в (27) и сделав преобразования, получим:

$$a_u = \frac{\Delta p}{0,5 \rho_c K_2 D} = \frac{V_{ex}^2 (1 - K_2)^2}{D K_2^3 \left( \ln \frac{1}{K_2} \right)^2}. \quad (29)$$

Как видно из формулы (29), ускорение в радиальном направлении выхлопной трубы циклона зависит прямо пропорционально от скорости во входном патрубке и отношения диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона и обратно пропорционально диаметру циклона. Зависимость (29) справедлива для циклонов любой конструкции.

Зная расстояние от оси циклона до внутренней поверхности выхлопной трубы  $R_2$  и ускорение  $a_u$  можно определить время прохождения газа от внутренней стенки выхлопной трубы циклона к его центру, которое равно:

$$t_u = \sqrt{\frac{D K_2}{a_u}} = \frac{D K_2^2 \ln \frac{1}{K_2}}{V_{ex} (1 - K_2)}. \quad (30)$$

Формула (30) показывает, что время  $t_u$  имеет прямо пропорциональную зависимость от диаметра циклона  $D$ , от коэффициента  $K_2$  (отношение внутреннего диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона) и обратно пропорциональную зависимость от скорости газа во входном патрубке  $V_{ex}$ .

Для сферических частиц со стоксовским характером обтекания внешним потоком газа, время релаксации имеет вид [8]:

$$\tau = \frac{\rho_c d_c^2}{\rho_r 18 \nu_r}, \quad (31)$$

где  $\rho_c$  – плотность частицы пыли, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_r$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  
 $d_c$  – диаметр частицы, м;  
 $\nu_r$  – коэффициент кинематической вязкости газа, м<sup>2</sup>/с.

На рис. 5 показаны зависимости времени релаксации частицы в газовом потоке и времени прохождения газового потока от внутренней стенки выхлопной трубы циклона к его центру для различных условий.

Как видно из графиков (рис. 5), зависимости времени  $t_u = f(V_{вх.т.})$  и  $t_u = f(K_2)$  составляют значения одного порядка с  $\tau = f(d_c)$ . Однако несмотря, что время  $t_u = f(D)$  значительно больше  $\tau = f(d_c)$ , все равно на пыль, находящуюся в выхлопной трубе, будет действовать сила, обусловленная тем, что под

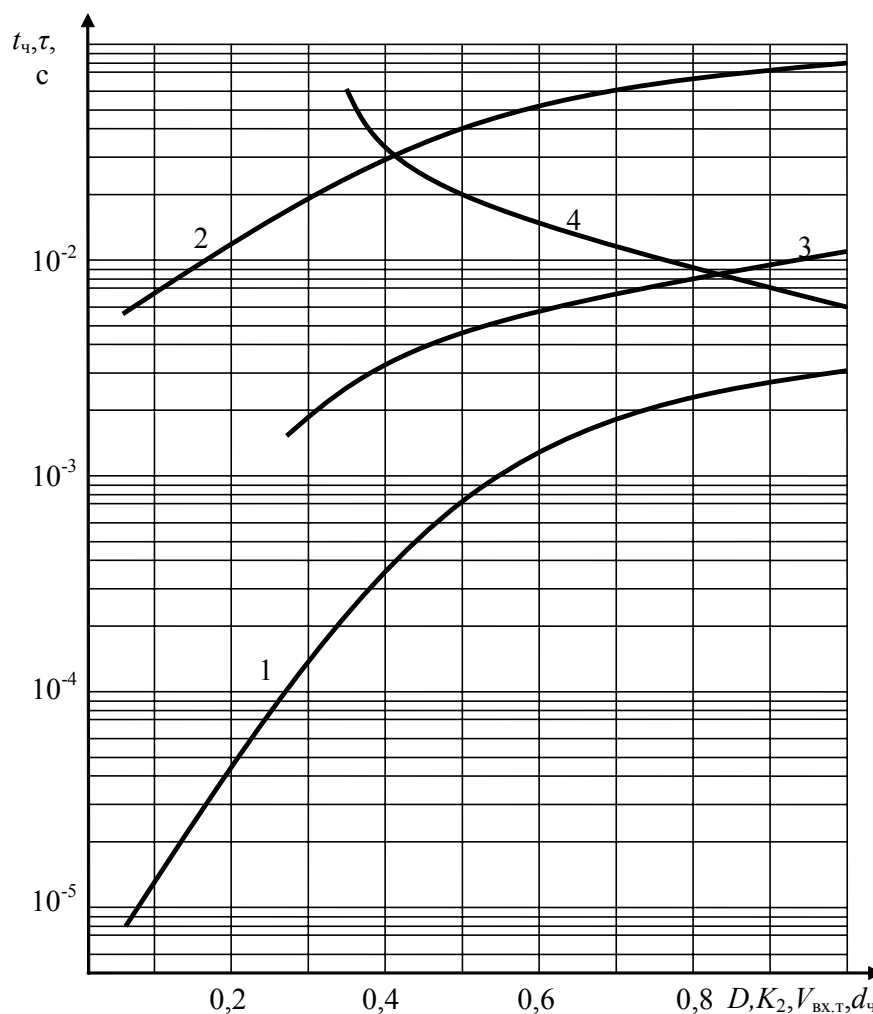


Рисунок 5 – Графики зависимостей: 1 –  $\tau = f(d_{ц})$ ; 2 –  $t_{ц} = f(V_{вх.т.})$ ; 3 –  $t_{ц} = f(K_2)$ ; 4 –  $t_{ц} = f(D)$ .

действием градиента давления газ в выхлопной трубе в радиальном направлении движется с ускорением  $a_{ц}$ . Частицы пыли увлекаются газовым потоком и движутся вместе с ним равномерно ускоренно, но отставая на время релаксации  $\tau$ . Тогда скорость частицы в радиальном направлении относительно потока при отсутствии других воздействий будет равна:

$$V_{д} = V_{г} - V_{ц} = a_{ц}t - a_{ц}(t - \tau) = a_{ц}\tau. \quad (32)$$

При нахождении частицы пыли в потоке, движущемся с ускорением, на частицу будет действовать сила, вынуждающая частицу двигаться с ускорением. Увлекающая сила потока газа равна [8]:

$$F_c = 0,5C_{ц}S_{ц}\rho_{г}V_{г}^2, \quad (33)$$

где  $S_{ц}$  – эффективная площадь частицы пыли, для шара  $S_{ц} = \pi d_{ц}^2 / 4$ .

В формуле (33) присутствует коэффициент сопротивления частиц  $C_{ц}$  газовому потоку, который зависит от числа Рейнольдса  $Re$ , которое определяется выражением:

$$Re = \frac{V_{г}d_{ц}}{\nu_{г}} = \frac{a_{ц}\tau d_{ц}}{\nu_{г}}. \quad (34)$$

Зависимость коэффициента сопротивления частиц  $C_{ц}$  газовому потоку от числа Рейнольдса  $C_{ц} = f(Re)$  носит сложный характер и нет единой формулы, определяющей значение коэффициента сопротивления. Поэтому исследования граничных условий для определения зависимости коэффициента сопротивления частиц  $C_{ц}$  необходимо продолжить в дальнейшей работе.



## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в восходящем вихревом потоке циклона, помимо центробежной и силы сопротивления среды, присутствует и сила, обусловленная радиальным градиентом давления, направленная к оси циклона.
2. Установлено, что силы тяжести и силы Архимеда имеют существенно меньшую величину по сравнению с центробежной силой и могут не учитываться.
3. Получена зависимость ускорения газового потока в радиальном направлении, направленная к оси циклона.
4. Полученные зависимости справедливы для циклонов любой конструкции, поскольку из конструктивных параметров в зависимостях присутствуют только диаметр циклона и отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона.
5. Дальнейшая работа в данном направлении является перспективной и должна быть продолжена.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пылеулавливание в металлургии [Текст] : справочник / Под ред. А. А. Гурвица. – М. : Металлургия, 1984. – 336 с.
2. Алиев, Г. М. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок [Текст] / Г. М. Алиев. – М. : Металлургия, 1988. – 368 с., ил.
3. Bart, W. Berechnung und Auslegung von Zyklonabscheidern auf Grund neuer eruntersuchungen [Text] / W. Bart // Brennstoff-Warmekraft, 1956. – N 8. – P. 1–9.
4. Stairmand, C. J. Chemistry and industry [Text] / C. J. Stairmand, R. N. Kelsey. – [N. c. : S. n]. – 1324 p.
5. Ter Linden, A. I. Investigations into Cyclone Dust Collectors [Text] / Ter A. I. Linden // The Inst. of Mechanical Eng. – 1949. – V.160, N 2. – P. 233–251.
6. Пирумов, А. И. Обеспыливание воздуха. [Текст] / А. И. Пирумов. – М. : Стройиздат, 1981. – 296 с.
7. Дейч, М. Е. Газодинамика [Текст] / М. Е. Дейч, А. Е. Зарянкин. – М. : «Энергоатомиздат», 1984. – 384 с.
8. Василевский, М. В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами [Текст] : монография / М. В. Василевский. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 258 с.

Получено 07.10.2019

### С. М. ОРЛОВ, Б. Р. РОМАНЕНКО, А. Я. ОРЛОВА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦИКЛОНІВ ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

**Анотація.** Захист атмосфери – соціальна і економічна проблема, нерозривно пов'язана із завданням створення комфортних умов для життя і роботи людини. У багатьох промислових викидах містяться цінні продукти, які безповоротно втрачаються. Тому очищення промислових викидів має санітарне та економічне значення. При очищенні газу від пилу найбільшого поширення набули циклони, які, як правило, встановлюються як попередні ступені очищення. При цьому апарати тонкого очищення розраховуються на весь об'єм газу. На даний час не досліджено питання концентрації пилу і газодинамічні процеси, що протікають у вихлопній трубі. Дані дослідження дозволять більш раціонально використовувати енергію, витрачену на очистку газів в циклонах.

**Ключові слова:** пиловловлювач, циклон, пил, сила тяжіння, сила Архімеда, центробіжна сила.

### STANISLAV ORLOV, BORIS ROMANENKO, ALLA ORLOVA CYCLONES ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The protection of the atmosphere is a social and economic problem inextricably linked with the task of creating comfortable conditions for human life and work. Many industrial emissions contain valuable products that are irretrievably lost. Therefore, the treatment of industrial emissions is of sanitary and economic importance. When cleaning gas from dust, cyclones, which, as a rule, are installed as a preliminary cleaning stage, are most widely used. At the same time, fine filters are calculated for the entire volume of gas. At present, the issues of dust concentration and gas-dynamic processes in the exhaust pipe have not been studied. These studies will allow a more rational use of the energy spent on gas purification in cyclones.

**Key words:** dust collector, cyclone, dust, gravity, Archimedes force, centrifugal force.

**Орлов Станислав Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и электроснабжения в строительстве ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: автоматизация процессов и аппаратов систем ТГВ.

**Романенко Борис Романович** – аспирант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

**Орлова Алла Яковлевна** – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вентиляция и кондиционирование помещений жилых и общественных зданий.

**Орлов Станіслав Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та електропостачання в будівництві ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: автоматизація процесів і апаратів систем ТГВ.

**Романенко Борис Романович** – аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

**Орлова Алла Яківна** – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вентиляція і кондиціонування приміщень житлових і громадських будівель.

**Orlov Stanislav** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Electrotechnics and Automatics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: automation of processes and devices of DVT systems.

**Romanenko Boris** – graduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy saving in heating, ventilation and air conditioning.

**Orlova Alla** – Senior Lecturer, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: ventilation and air-condition in go residential and public buildings.