



ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОГО ЦИКЛОНУ ІЗ ПРЯМОТОЧНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

С. М. Орлов, В. І. Захаров, А. Я. Орлова

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: vizaza1953@mail.ru

Отримана 29 березня 2011; прийнята 27 травня 2011.

Анотація. Прямоточні циклони широко застосовуються для очищення газу від пилу. Однак через низьку ефективність вони застосовуються в основному для попереднього очищення газу від пилу для зниження навантаження на апарати тонкого очищення. Проведено аналіз роботи комбінованого циклону із прямоточними елементами, в якому для кращої концентрації пилу спільно використовується відцентрова й кулонівська сили. Установлено, що поблизу коронуючого електрода кулонівська сила значно перевищує відцентрову силу, однак у міру видалення інтенсивно падає. Відцентрова сила, навпаки, зі збільшенням відстані від коронуючого електрода лінійно зростає. Установлено, що для часток певного розміру існує відстань від коронуючого електрода, на якому відцентрова й кулонівська сили зрівнюються. На цій відстані результуюча сила (дія кулонівських і відцентрових сил) стає мінімальною. Наявність мінімуму результуючої сили дозволяє істотно спростити теоретичний розгляд механізму концентрації пилу, уважаючи цю силу постійною у всім міжелектродному просторі. Установлено, що спільна дія кулонівських і відцентрових сил значно підвищує ефективність прямоточних циклонів, тому подальші дослідження в даному напрямку є перспективними.

Ключові слова: циклон, відцентрова сила, кулонівська сила, швидкість.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ЦИКЛОНА С ПРЯМОТОЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

С. М. Орлов, В. И. Захаров, А. Я. Орлова

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: vizaza1953@mail.ru

Получена 29 марта 2011; принята 27 мая 2011.

Аннотация. Прямоточные циклоны широко применяются для очистки газа от пыли. Однако в силу низкой эффективности они применяются в основном как предварительная очистка газа от пыли для снижения нагрузки на аппараты тонкой очистки. Проведен анализ работы комбинированного циклона с прямоточными элементами, в котором для лучшей концентрации пыли совместно используется центробежная и кулоновская силы. Установлено, что вблизи коронирующего электрода кулоновская сила значительно превосходит центробежную силу, однако по мере удаления интенсивно падает. Центробежная сила, наоборот, с увеличением расстояния от коронирующего электрода линейно возрастает. Установлено, что для частиц определенного размера существует расстояние от коронирующего электрода, на котором центробежная и кулоновская силы уравниваются. На этом расстоянии результующая сила (действие кулоновских и центробежных сил) становится минимальной. Наличие минимума результующей силы позволяет существенно упростить теоретическое рассмотрение механизма концентрации пыли, считая эту силу постоянной во всем межэлектродном пространстве. Установлено,

что совместное действие кулоновских и центробежных сил значительно повышает эффективность прямооточных циклонов, поэтому дальнейшие исследования в данном направлении являются перспективными.

Ключевые слова: циклон, центробежная сила, кулоновская сила, скорость.

RESEARCH OF THE COMBINED CYCLONE WITH DIRECT-FLOW ELEMENTS

Orlov Stanislav, Zakharov Victor, Orlova Alla

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

E-mail: vizaza1953@mail.ru

Received 29 March 2011; accepted 27 May 2011.

Abstract. Direct-flow cyclones are widely used for gas cleaning from dust. However, due to low efficiency, they are mainly used as a pretreatment gas cleaning from dust to reduce the load on the fine cleaning machines. The analysis of the combined direct-flow cyclone with the elements in which, for better concentration of dust both the centrifugal and Coulomb forces are used. It is known that near the corona electrode, the Coulomb force is much greater than the centrifugal force, but as the distance increases it decreases rapidly. Centrifugal force, on the contrary, increases linearly with increasing distance from the corona electrode. It is found that for particles of a certain size there is the distance from the corona electrode, where the centrifugal and Coulomb forces are equalized. At this distance, the resultant force (the action of Coulomb and centrifugal forces) becomes minimal. The minimum resultant force can significantly simplify the theoretical analysis of the mechanism of dust concentration, assuming that this force is constant throughout the interelectrode space. It is found that the combined effect of Coulomb and centrifugal forces significantly increases the efficiency of direct-flow cyclone, so further researches in this direction are promising.

Keywords: cyclone, centrifugal forces, coulomb force, speed.

Защита атмосферы – социальная и экономическая проблема, неразрывно связанная с задачей создания комфортных условий для жизни и работы человека.

Большинство технологических процессов в металлургии, энергетике, промышленности строительных материалов, машиностроении, химии и нефтехимии сопровождается пылегазовыми выбросами. Большинство промышленных выбросов содержат ценные полупродукты (металлы, химические вещества), которые безвозвратно теряются. Поэтому очистка и обезвреживание промышленных выбросов имеют санитарное и экономическое значение.

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. Существует два вида циклонов: прямооточные и противоточные. Для обеспыливания больших объемов газа одиночные циклоны объединяются в группы.

Практическое решение задач наилучшего распределения газов, снижения уноса, отвода пыли и т. д. при необходимости установки большого числа циклонов привело к созданию батарейного циклона. Последний представляет собой пылеулавливающий аппарат, составленный из большого числа параллельно включенных циклонных элементов, которые заключены в один корпус, имеющий общий подвод и отвод газов. В батареи объединяются как прямооточные, так и противоточные циклоны.

Батарейные циклоны с прямоточными элементами дают меньшую степень очистки, чем обычные, поэтому они редко применяются как самостоятельные пылеуловители. Их чаще устанавливают в качестве предвключенных аппаратов перед электрофильтрами, рукавными фильтрами.

У большинства прямоточных батарейных циклонов с целью предотвращения газового обмена между запыленными и очищенными потоками процессы концентраций и отделения пыли конструктивно разделены. На рис. 1 [1] показан прямоточный батарейный циклон ЦКТИ. Пылегазовый поток из камеры запыленного газа 1 поступает в оборудованные винтовыми завихрителями элементы 2, в которых под действием центробежных сил происходит перераспределение концентрации пыли по сечению элемента: возрастание у стенок и уменьшение в центральной части. Обеспыленный поток из центральной части элемента отводится в камеру очищенного газа 3. Периферийный слой газа, обогащенный пылью, через торцевое кольцо элемента отсасывается вентилятором 4 и, пройдя пылеуловитель 5, возвращается в камеру запыленных газов. В отличие от обычных (противоточных) циклонов в прямоточных батарейных циклонах элемент часто выполняет роль пылеконцентратора, а улавливание пыли происходит в специально установленных малогабаритных циклонах, тканевых фильтрах и других аппаратах.

Из выше перечисленного можно сделать вывод: прямоточные циклоны лишены некоторых недостатков, присущих обратноточным циклонам; циклоны с прямоточными элементами дают меньшую степень очистки, чем обычные; у большинства прямоточных батарейных циклонов с целью предотвращения газового обмена между запыленными и очищенными потоками процессы концентраций и отделения пыли конструктивно разделены.

Целью работы является повышение эффективности прямоточного циклона до такой степени, чтобы в камеру 3 (рис. 1) поступал полностью очищенный газ, что позволит значительно уменьшить объемы газа, подлежащего очистке, а следовательно получить большой экономический эффект.

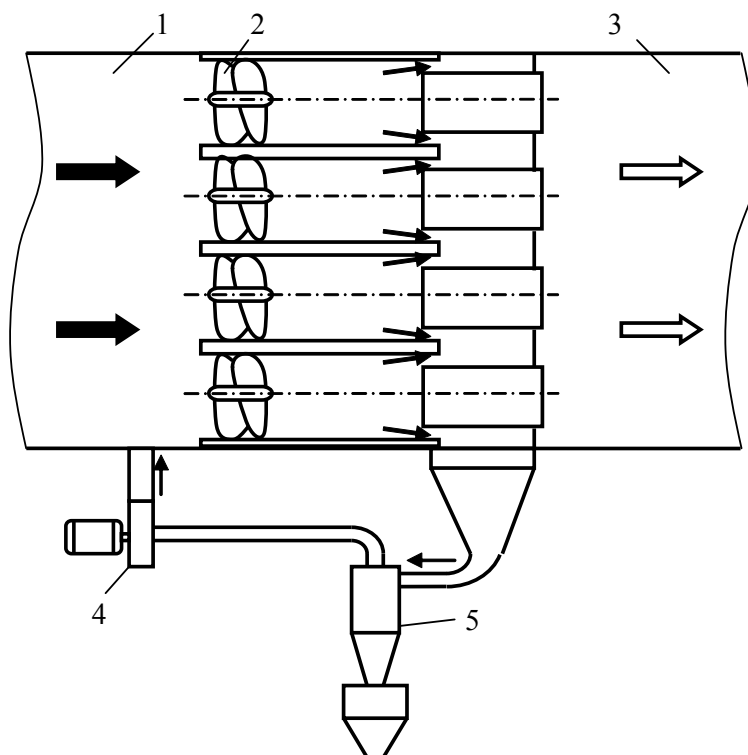


Рисунок 1. Прямоточный батарейный циклон ЦКТИ.

Для достижения поставленной цели необходимо, чтобы вся пыль, находящаяся в газе, концентрировалась в пристенной зоне циклона. Известно, что при длительном нахождении пыли в криволинейном потоке можно сепарировать пыль любого фракционного состава, однако это повлечет за собой неоправданное увеличение габаритов циклона и повышение гидравлического сопротивления. Целесообразно для более быстрой сепарации пыли использовать электрическое поле. Таким образом, на пыль будет действовать кулоновская и центробежная силы согласованно.

На рис. 2 показан комбинированный прямооточный циклон. По центру винта через изолятор 1 вставляется электрод 2, на который подается высокое напряжение отрицательной полярности.

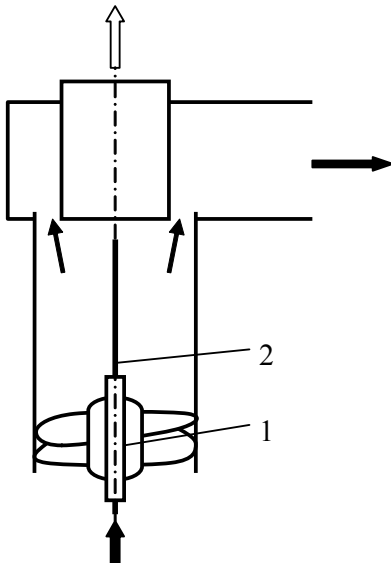


Рисунок 2. Комбинированный прямооточный циклон.

В комбинированном прямооточном циклоне последовательно сочетается центробежный и электрический механизмы сепарации пыли. Анализ работ [2, 3, 4] показал, что выполнены теоретические и экспериментальные исследования движения заряженных аэрозолей, а также физических процессов, протекающих в электрофильтрах. В работе [5] исследован процесс осаждения пыли в трубчатом электрофильтре в условиях турбулентного перемешивания аэрозоля.

Распределение тангенциальной скорости по радиусу корпуса прямооточного циклона, по данным экспериментальных исследований, носит

сложный характер. В центральной части потока, в так называемом ядре вихря, тангенциальная скорость возрастает с увеличением радиуса R по закону $V_t = \omega R$ (зона твердого тела), а затем по мере приближения к корпусу прямооточного циклона убывает. Возможность детального анализа закона убывания тангенциальной скорости в пристенной зоне затруднена из-за недостатка экспериментальных данных, однако весь воздух, находящийся в пристенной области, отсасывается вместе с сепарированной пылью. Поэтому распределение тангенциальной скорости по радиусу в корпусе прямооточного циклона принимаем таким же, как и в ядре вихря, то есть считаем, что воздух вращается как твердое тело и отличается постоянной угловой скоростью [6].

Предположим, что по оси прямооточного циклона установлен гладкий цилиндрический коронирующий электрод радиуса R_1 , внутренняя поверхность циклона R_2 , а R_3 – радиус внутренней поверхности центральной части циклона. Если в пространстве между электродами приложить напряжение U_0 , необходимое для зажигания коронного разряда, то напряженность электрического поля E может быть определена по формуле [7], в/м:

$$E = E_0 \sqrt{\frac{i}{2\pi\epsilon_0 K E_0} \left(1 - \frac{R_1^2}{R^2}\right) + \left(\frac{R_1}{R}\right)^2}, \quad (1)$$

где $\epsilon_0 = (4\pi \times 9 \times 10^9)^{-1}$ – электрическая постоянная, Ф/м; K – подвижность ионов, м²/(В с); R – текущий радиус, м.

Критическая напряженность поля (формула Пика) вблизи поверхности коронирующего электрода, В/м:

$$E_0 = 3,03\delta_n \left(1 + 0,0298\sqrt{\delta_0 R_1}\right), \quad (2)$$

где δ_n – отношение действительной плотности воздуха к его плотности при нормальных условиях;

Линейная плотность тока короны, А/м:

$$i = \frac{2K4\pi\epsilon_0}{R_2^2 \ln(R_2/R_1)} U(U - U_0), \quad (3)$$

где U – напряжение, приложенное к электродам, В.

Критическое напряжение для трубчатого электрофильтра с коронирующими электродами, выполненными из гладкой проволоки [7], В:

$$U_0 = E_0 R_2 \ln(R_2/R_1). \quad (4)$$

Частицы пыли в поле коронного заряда практически мгновенно приобретают электрический заряд, определяемый по формуле Понтье

$$Q = 4\pi\epsilon_0 \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) E r_c^2 \frac{K e n_0 t}{4\epsilon_0 + K e n_0 t}, \quad (5)$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость частицы пыли; r_c – радиус частицы пыли, м; e – заряд электрона, Кл; n_0 – начальная концентрация ионов, м⁻³; t – время зарядки, с.

Тогда действующая на частицы пыли при $\epsilon = 4$ кулоновская сила может быть определена следующим образом:

$$\begin{aligned} F_k &= QE = 2\pi\epsilon_0 E^2 d^2 = \\ &= 2\pi\epsilon_0 d^2 \left\{ \frac{2i}{4\pi\epsilon_0 K} \left[1 - \left(\frac{R_1}{R}\right)^2 \right] + \left(E \frac{R_1}{R} \right)^2 \right\} = \quad (6) \\ &= \frac{id^2}{K} \left[1 - \left(\frac{R_1}{R}\right)^2 \right] + 2\pi\epsilon_0 d^2 \left(E \frac{R_1}{R} \right)^2, \end{aligned}$$

где d – диаметр частиц пыли, м.

Из формулы (6) следует, что сила, действующая на частицы пыли со стороны электрического поля, быстро убывает по мере их приближению к осадительному электроду.

Будем считать, что газовый поток вместе с находящимися в нем частицами пыли вращается в корпусе прямоточного циклона с постоянной угловой скоростью ω . Это предположение с достаточной точностью выполняется для частиц пыли размером менее 10 мкм. Поэтому центробежная сила инерции может быть определена по формуле:

$$F_{\text{ц}} = \frac{\pi d^3 \rho \omega^2 R}{6}. \quad (7)$$

Как видно из формулы (7), центробежная сила инерции в отличие от электрической силы (6) увеличивается с ростом расстояния частицы от оси потока.

Таким образом, электрическая и центробежная силы, будучи одинаково направленными, взаимно дополняют друг друга.

Отсюда следует принципиальная возможность повышения эффективности очистки газа путем оптимального сочетания центробежного и электростатического механизмов сепарации пыли.

В качестве данных для конкретного расчета возьмем прямоточный циклон ПО «Газоочистка» ЦБ-254Р с диаметром корпуса 250 мм, типичные параметры трубчатого электрофильтра соответствующего размера и физико-химические свойства пыли, характерных для производства строительных материалов: $\omega = 240 \text{ с}^{-1}$; $R_1 = 10 \text{ м}^3$; $R_2 = 0,125 \text{ м}$; $\epsilon = 4$; $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $E_0 = 5,8 \cdot 10^6 \text{ В/м}$; $i = 1,34 \cdot 10^3 \text{ А/м}$; $K = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{Вс})$.

Размеры частиц изменяли от 0,2 до 10,0 мкм.

Зависимость силы центробежной инерции $F_{\text{ц}}$ и кулоновской силы F_k , действующих на частицы пыли, от расстояния для размеров частиц в интервале $d = (1-3) \text{ мкм}$ представлены на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что для частиц определенного размера существует расстояние от коронирующего электрода R_k , на котором кулоновская и центробежная силы уравниваются.

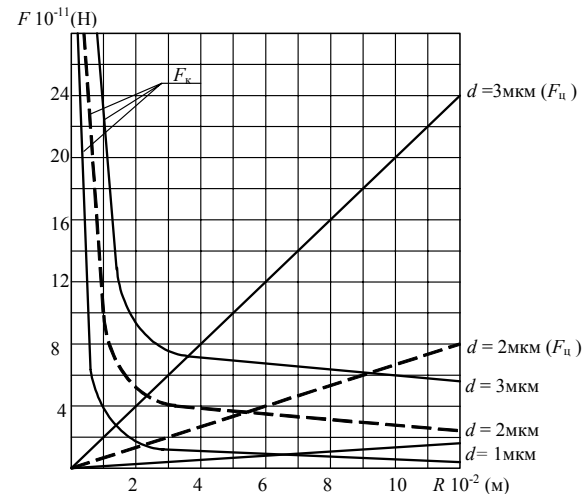


Рисунок 3. Зависимость кулоновской силы (F_k) и силы центробежной инерции ($F_{\text{ц}}$) от расстояния.

На расстоянии $R < R_k$, т. е. в центральной части корпуса прямоточного циклона, преобладает электростатический механизм сепарации пыли. На расстояниях больших R_k центробежная сила инерции значительно превышает кулоновскую силу.

С уменьшением размера частиц величина R_k растет. Так, для частиц размером $d < 1 \text{ мкм}$ кулоновская сила преобладает во всем межэлектродном пространстве.

На рис. 4 приведена зависимость результирующей силы $F = F_k + F_{\text{ц}}$, действующей на частицы пыли, от расстояния R . Наличие минимума

результатирующей силы F позволяет существенно упростить теоретическое рассмотрение механизма сепарации пыли, считая величину F постоянной во всем межэлектродном промежутке и равной F_{\min} . Однако следует отметить, что F_{\min} как минимум в 2 раза превышает силы F_{κ} и $F_{\text{ц}}$, взятые по отдельности.

Практика показала, что прямоточные циклоны хорошо улавливают крупнодисперсную пыль даже без использования электростатического поля, поэтому особое внимание следует уделить концентрации мелкодисперсной пыли $d < 10$ мкм.

Из рис. 4 следует, что для частиц определенного размера существует расстояние от коронирующего электрода R_{\min} , на котором результирующая сила F становится минимальной. Так, для частиц пыли $d = (0,2 - 10)$ мкм $R_{\min} \approx (0,15 - 0,5) R_2$. Для частиц пыли $d = (1 - 5)$ мкм $R_{\min} \approx (0,2 - 0,4) R_2$, поэтому в расчетах эффективности прямоточного комбинированного циклона берем $R_{\min} = 0,3R_2$. Следовательно, с учетом выше изложенного F равно:

$$F = F_{\kappa} + F_{\text{ц}} = \frac{id^2}{K} \left[1 - \left(\frac{R_1}{0,3R_2} \right)^2 \right] + 2\pi\varepsilon_0 d^2 \left(E \frac{R_1}{0,3R_2} \right)^2 + \frac{\pi d^3 \rho \omega^2 0,3R_2}{6}. \quad (8)$$

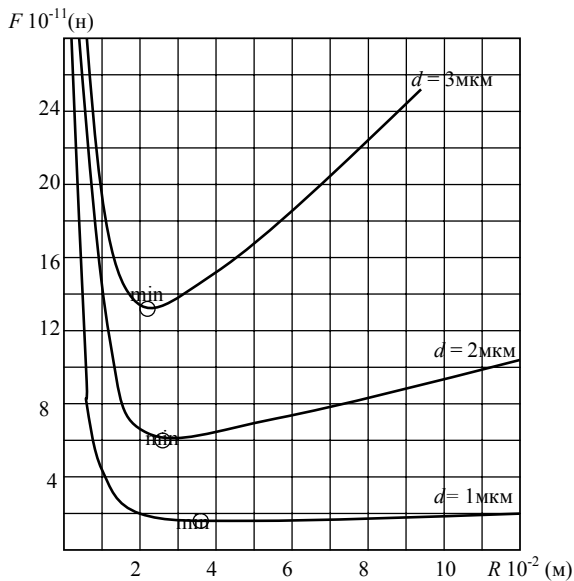


Рисунок 4. Зависимость результирующей силы, действующей на частицу пыли, от расстояния.

Под действием суммарной силы F частица пыли движется в радиальном направлении к стенке циклона со скоростью ω_p . Этому движению газовая среда оказывает сопротивление, величину которого определяют по формуле [8]

$$F_c = 3\pi\omega_p d\mu, \quad (9)$$

где ω_p — радиальная скорость частицы пыли, м/с; μ — вязкость газовой среды, Н с/м².

После входа в циклон суммарная сила F значительно превышает силу сопротивления среды F_c , так как начальное значение скорости пылинки в радиальном направлении было равно нулю. Но по мере возрастания этой скорости, практически через сотые доли секунды, эти силы становятся равными, и с этого момента частица продолжает двигаться в радиальном направлении с постоянной скоростью, которую определяют из равенства $F_c = F$, тогда радиальная скорость ω_p будет равна:

$$\omega_p = \frac{id}{3\pi\mu K} \left[1 - \left(\frac{R_1}{0,3R_2} \right)^2 \right] + \frac{2\varepsilon_0 d}{3\mu} \left(E \frac{R_1}{0,3R_2} \right)^2 + \frac{d^2 \rho \omega^2 0,3R_2}{18\mu}. \quad (10)$$

На рис. 5 показаны зависимость минимальной радиальной скорости от диаметра частиц

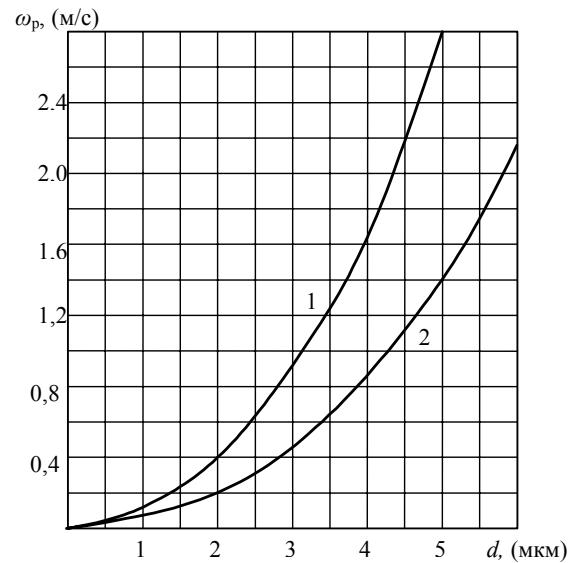


Рисунок 5. Зависимость радиальной скорости частиц пыли от их диаметра: 1 — с использованием электростатических и центробежных сил; 2 — с использованием только центробежных сил.

пыли для условий: 1 – взаимодействия электростатических и центробежных сил, 2 – воздействия только центробежных сил. Как видно из графика, с увеличением размера частиц радиальная скорость резко возрастает, однако радиальная скорость частиц пыли при воздействии только центробежных сил значительно меньше, чем при воздействии электростатических и центробежных сил.

Выводы:

1. Установлено, что вблизи коронирующего электрода кулоновская сила значительно превосходит центробежную силу.

2. Показано, что для частиц определенного размера существует расстояние от коронирующего электрода R_{\min} , на котором результирующая сила F (действие кулоновских и центробежных сил) становится минимальной. Это определение может существенно упростить расчет эффективности прямоточного циклона, в котором используется взаимодействие кулоновских и центробежных сил.

3. Установлено, что совместное действие кулоновских и центробежных сил значительно повышают эффективность прямоточных циклонов, поэтому дальнейшие исследования в данном направлении являются перспективными.

Литература

1. Алиев, Г. М. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок / Г. М. Алиев. – М.: Metallurgy, 1988. – 368 с.: ил.
2. Верещагин, И. П. Уравнение движения шарообразных частиц в потоке воздуха при малых числах Рейнольдса / И. П. Верещагин // Сильные электрические поля в технологических процессах. – 1969. – Вып. 1. – С. 60–79.
3. Основы электрогазодинамики и дисперсных систем / И. П. Верещагин, В. И. Левитов, Г. З. Мирзабекян, М. М. Пашин. – М.: Энергия, 1974. – 480 с.
4. Верещагин, И. П. Движение частиц аэрозоля в электрических полях при числах Рейнольдса, превышающих единицу / И. П. Верещагин, В. С. Морозов // Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт. – 1987. – № 1. – С. 40–45.
5. Мирзабекян, Г. З. Уравнение кинетики зарядки и осаждения частиц в электрофильтре с учетом турбулентного перемешивания / Г. З. Мирзабекян, И. Н. Григорьев // Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт. – 1988. – № 2. – С. 51–58.
6. Пирумов, А. И. Обеспыливание воздуха / А. И. Пирумов. – М.: Стройиздат, 1981. – 296 с.: ил.
7. Пылеулавливание в металлургии: Справочник / Под ред. А. А. Гурвица. – М.: Metallurgy, 1984. – 336 с.: ил.
8. Гордон, Г. М. Пылеулавливание и очистка газов / Г. М. Гордон, И. Л. Пейсахов. – М.: Стройиздат, 1968. – 499 с.: ил.
9. О влиянии закона сопротивления среды на скорость дрейфа частиц в электрофильтре / В. Г. Шаптала, Л. А. Куцев, Н. Н. Подгорный, А. Г. Петров // Химическая технология строительных материалов. – М., 1980. – С. 170–175.
10. Ужов, В. Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами / В. Н. Ужов. – М.: Химия, 1987. – 344 с.

References

1. Aliev, G. M. Device and service gas treatment and collection systems. Moscow: Metallurgy, 1988. 368 p. (in Russian)
2. Vereshchagin, I. P. Equation of motion of spherical particles in the air flow at low Reynolds numbers. *Strong electric field in the process protsessah*, 1969, Vol. 1, p. 60–79. (in Russian)
3. Vereshchagin, I. P.; Levitov, V. I.; Mirzabekyan, G. Z.; Pashin, M. M. Principles and electro-dispersed systems. Moscow: Energiya, 1974. 480 p. (in Russian)
4. Vereshchagin, I. P.; Morozov, V. S. Motion of aerosol particles in electric fields at Reynolds numbers greater than unity. *Math. USSR Academy of Sciences, Energy and Transport*, 1987, № 1, p. 40–45. (in Russian)
5. Mirzabekyan, G. Z.; Grigor'ev, I. N. Kinetics equation for charging and electrostatic deposition of particles in the light of the turbulent mixing. *Izv. USSR Academy of Sciences, Energy and Transport*, 1988, № 2, p. 51–58. (in Russian)
6. Pirumov, A. I. Dedusting air. Moscow: Stroyizdat, 1981. 296 p. (in Russian)
7. Dust Collection in Metallurgy: A Handbook, Ed. A. A. Gurvitsa. Moscow: Metallurgy, 1984. 336 p. (in Russian)
8. Gordon, G. M.; Peisakhov, I. L. Dust Collection and purification of gases. Moscow: Stroyizdat, 1968. 499 p. (in Russian)
9. Shaptala, V. G.; Kushchev, L. A.; Podgorny, N. N.; Petrov, A. G. The effect of the law on environmental resistance drift velocity of particles in the electrostatic precipitator. *Chemical Technology of building materials*. Moscow, 1980, p. 170–175. (in Russian)
10. Uzhov, V. N. Electrostatic purification of industrial gases. Moscow: Himiya, 1987. 344 p. (in Russian)

11. Кисилев, Н. Д. Очистка воздуха от высокодисперсной пыли методом искусственной ионизации / Н. Д. Кисилев. – М. : Машиностроение, 1966. – 72 с.
12. Очистка промышленных газов от пыли / В. Н. Ужов, А. Ю. Вальтберг, Б. И. Мягков, И. К. Решидов. – М. : Химия, 1981. – 392 с.
11. Kiselev, N. D. Cleaning highly dusted air by artificial ionization. Moscow: Mashinostroenie, 1966. 72 p. (in Russian).
12. Uzhov, V. N.; Valtberg, A. J.; Myagkov, B. I.; Reshidov, I. K. Treatment of industrial gases from dust. Moscow: Himiya, 1981. 392 p. (in Russian).

Орлов Станіслав Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехніки і автоматики Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: автоматизація процесів і апаратів систем теплогазопостачання і вентиляції.

Захаров Віктор Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розподіл природного газу в умовах дефіциту газу; оперативне управління системами газопостачання; раціональне використання газоподібного палива.

Орлова Алла Яківна – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вентиляція і кондиціонування приміщень житлових і громадських будівель.

Орлов Станислав Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: автоматизация процессов и аппаратов систем теплогазоснабжения и вентиляции.

Захаров Виктор Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: распределение природного газа в условиях дефицита газа; оперативное управление системами газоснабжения; рациональное использование газообразного топлива.

Орлова Алла Яковлевна – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: вентиляция и кондиционирование помещений жилых и общественных зданий.

Orlov Stanislav – Ph. D. (Eng.), an Associate Professor of the department «Electrical Engineering and Automatics» of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: automation of processes and devices of heat and gas supply and ventilation systems.

Zakharov Victor – Ph. D. (Eng.), an Associate Professor of the department «Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation» of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: distribution of natural gas under a gas deficiency; an operative management of gas-supply systems; a rational use of a gaseous fuel.

Orlova Alla – the senior teacher of the department «Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation» of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: ventilation and conditioning of dwelling and public premises.