

Обоснование применения электроциклона для очистки пылевых выбросов металлургических предприятий

Обоснована перспективность создания универсальных высокоэффективных пылеулавливающих установок путем модернизации имеющегося базового оборудования промышленных предприятий. Разработана простая в изготовлении конструкция электроциклона на базе стандартного циклона ЦН-15-200. Расчет эффективности очистки газов от пыли в электроциклоне выполнен с помощью специальной методики, учитывающей изменение размеров частиц пыли в пределах каждой фракции. Проведенными расчетами показано, что применение электроциклона данной конструкции позволяет увеличить осаждение мелких фракций пыли на 10-20 % по сравнению с обычным циклоном. Предлагаемая конструкция электроциклона может быть использована для очистки пылевых выбросов в металлургическом производстве. Ил. 2. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: очистка газов, пылеулавливающее оборудование, циклон, модернизация, электроциклон, эффективность, расчет

Proved promising for creating universal high-performance dust extraction systems by upgrading the existing basic equipment of industrial enterprises. A simple design to manufacture elektrotsyklona based on standard operation cyclone-15-200. The calculation of the efficiency of purification of gases from dust elektrotsyklone is made using a special technique that takes into account the change of particle size within each faction. Calculations have shown that the use of elektrotsyklona this design allows you to increase the deposition of fine dust fractions by 10-20% compared with a conventional cyclone. The proposed design elektrotsyklona can be used to clean dust emissions in the steel industry.

Keywords: cleaning gases, dust collection equipment, cyclone, modernization, elektrotsyklon, efficiency, calculation.

Введение

Снижение объемов пылевых выбросов является особенно актуальной проблемой для крупных городов и агломераций с высокой концентрацией промышленных объектов. Так, на территории Днепропетровской области расположены 9 тысяч промышленных предприятий, из которых более 1000 – предприятия металлургического комплекса [1]. В 2011 г. суммарные выбросы вредных веществ и пыли в атмосферу здесь составили 1157,883 тыс. т, что составляет более 15 % общеукраинских [2]. Особую опасность представляют мелкие (10 мкм и менее) частицы, которые плохо улавливаются очистными установками и долго находятся в воздухе. Поэтому сокращение количества этих выбросов имеет большое экономическое и экологическое значение.

Для очистки отходящих газов от пыли на предприятиях используют различное пылеулавливающее оборудование. Если применяемые аппараты не позволяют достичь требуемой степени улавливания пыли, применяют очистку из двух и более ступеней с помощью аппаратов различных типов. Один из них, например, циклон выполняет предварительную грубую очистку, а второй – электрофильтр или рукавный фильтр – финальную тонкую. Такая система требует согласованной работы очистного оборудования, слаженного управления всеми аппаратами и высокой квалификации обслуживающего персонала, Это уве-

личивает расходы, однако не всегда гарантирует требуемую степень очистки.

Применяемое на предприятиях пылеулавливающее оборудование на сегодняшний день во многих случаях устарело, часто работает неэффективно, имеет большое количество отказов и нуждается в модернизации или замене. Однако в условиях экономического кризиса полная замена устаревших аппаратов на современные не представляется возможной из-за высокой стоимости новых установок.

Перспективным и экономически целесообразным вариантом повышения степени очистки пылевых выбросов является модернизация используемого оборудования путем комбинирования нескольких механизмов очистки в одном аппарате. Это позволит использовать скрытые резервы пылеулавливающих установок, обойтись без дорогостоящей замены всего оборудования, пусконаладки, обучения персонала, и, в перспективе, отказаться от традиционной двухступенчатой системы газоочистки.

Постановка задачи

В связи с ужесточением требований по охране атмосферного воздуха становится актуальным создание универсальных пылеуловителей – надёжных и высокоэффективных установок, способных обеспечить санитарные нормы выбросов пыли в атмосферу при условии умеренных затрат на их разработку, изготовление и эксплуатацию.

Разработка схемы электроциклона

За основу универсального аппарата был взят циклон как наиболее распространенное пылеулавливающее устройство в промышленности, применяемое в основном для грубой очистки от пыли. Простота конструкции позволяет изготавливать циклон непосредственно на производстве. Преимуществами циклонов являются их сравнительно малые габариты, высокая производительность, небольшая металлоемкость, надежность, однако они малоэффективны при осаждении мелких фракций пыли.

Эффективность пылеулавливания в циклоне можно повысить за счет создания в нем сильных

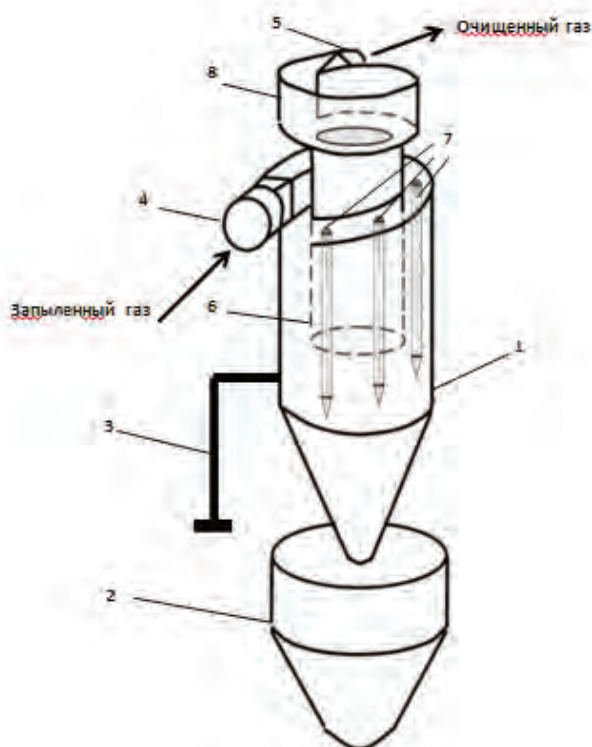


Рис. 1. Электроциклон: 1 – корпус; 2 – бункер; 3 – заземление; 4 – входной патрубок для ввода газового потока; 5 – выходной патрубок для выхода очищенного газа; 6 – выхлопная труба; 7 – коронирующие электроды; 8 – улитка

электрических полей путем введения конструктивных элементов электрофильтра. Таким образом, в предлагаемом аппарате частицы пыли осаждаются в результате совместного действия гравитационных, центробежных и электрических сил.

Работы по созданию эффективного центробежно-электрического пылеуловителя ведутся длительное время, независимо в разных странах. На сегодняшний день существует ряд конструкций электроциклонов, как в виде патентов [3], так и готовых образцов [4], отличающихся друг от друга формой, размерами, применяемыми осадительными и коронирующими элементами, характеристиками электрического поля и т. д.

Электроциклоны, созданные на базе прямоточных циклонов, как правило, имеют худшие

технико-экономические показатели, что связано с особенностями их конструкции. В электроциклонах на базе противоточных циклонов вносимые элементы (дополнительные осадительные и коронирующие электроды, газораспределительные решетки, завихрители потока и т.д.) ухудшают аэродинамику, повышают гидравлическое сопротивление, значительно усложняют конструкцию. Это повышает их стоимость, сложность изготовления, металлоемкость и служит препятствием для успешного внедрения таких электроциклонов в производство.

Задача исследования состоит в создании надежного и технологичного электроциклона с низкой металлоемкостью и высокой степенью очистки от пыли на основе модернизации базового циклона непосредственно на производстве, с минимальным внесением переделок в конструкцию. За основу разработки был взят стандартный циклон ЦН-15, в который добавлены элементы конструкции электрофильтра.

Согласно предлагаемой схеме (рис. 1), в корпусе электроциклона через равные промежутки расположены коронирующие электроды, выполненные в виде шестигранника с заостренным нижним концом. Создаваемое ими электрическое поле охватывает всю цилиндрическую часть циклона от входного патрубка до конической части. Это увеличивает время пребывания частиц пыли в электрическом поле, что повышает степень очистки.

Грани электродов представляют собой продольные коронирующие ребра. Применение электродов с нефиксированными разрядными точками позволяет улучшить вольтамперные характеристики и создать электрическое поле одинаковой напряженности вдоль всей его длины. Заостренные концы электродов также являются разрядными точками. Они создают дополнительные силовые линии электрического поля, направленные вниз, что позволяет заряжать мелкодисперсные частицы пыли, которые выносятся из бункера циклона восходящим потоком газа и отбрасываются в нисходящий поток газа на корпус циклона.

Коронирующие электроды закреплены в верхней части корпуса и подключены через изоляторы к источнику высокого напряжения отрицательного потенциала. Изоляторы коронирующих электродов проходного типа устанавливаются на винтовой крышке циклона с помощью специального герметичного фланца, выполненного из электроизоляционного материала. Это позволяет исключить электрические пробой на корпус и подсос воздуха, что также способствует повышению степени очистки газа. Корпус электроциклона заземляется с помощью специальных опор.

Электроциклон работает следующим образом. Поток запыленного газа, войдя в корпус 1 через входной патрубок 4, попадает в межэлектродный

ззор, закручивается и движется вниз по спирали, одновременно заряжаясь в электрическом поле большой напряженности. Крупные частицы пыли под действием центробежных и электрических сил отбрасываются на стенки корпуса 1, отдают свой заряд, движутся в нисходящем потоке и оседают в бункер 2. Мелкие частицы пыли под воздействием электрического поля ионизируются, при столкновении образуя крупные частицы – агломераты, и также отбрасываются к стенкам корпуса 1. Благодаря длине и форме коронирующих электродов 7 электрическое поле действует на весь рабочий объем циклона.

Восходящий поток газа, поднимаясь из бункера 2, получает дополнительную электризацию благодаря заостренным концам коронирующих электродов 7, находящихся ниже выхлопной трубы 6. Высокодисперсные частицы, которые выносятся потоком газа из бункера, повторно электризуются, отбрасываются от коронирующих электродов 7 к стенкам циклона и снова ссыпаются в бункер 2.

Непрерывная очистка пыли с поверхности корпуса циклона 1 в бункер 2 благодаря центробежным силам практически исключает накопление пыли у осадительной поверхности и возникновение обратной короны. С целью обеспечения высокой степени очистки газа поддерживается его устойчивый расход через электроциклон, а также постоянный потенциал напряжения на электродах. Необходимо отметить, что входная запыленность может изменяться в широких пределах, поэтому, в отличие от электрофилтра, резкое повышение запыленности газа не приводит к запырению короны.

Расчет эффективности электроциклона

Теоретический расчет эффективности пылеулавливания является сложной задачей ввиду того, что в процессе очистки на частицы пыли действуют гравитационные, центробежные и электрические силы, которые накладываются друг на друга. К настоящему времени разработан ряд соответствующих методик, которые учитывают особенности различных электроциклонов [5]. Однако, в силу конструктивных отличий предложенной схемы, известные формулы не могут быть непосредственно использованы в данном случае.

Методика расчета эффективности предложенного электроциклона основана на принципе максимума показателей эффективности очистки, производимой центробежным и электрическим способом. В этом случае расчет эффективности пылеулавливания проводится независимо для циклонной части и в режиме электроциклона, а результирующая эффективность равна максимуму, достигаемому одним из способов.

При расчетах предполагается, что внесение тонких коронирующих электродов не приводит к большой турбулизации потока очищаемого газа.

Так, критериальное число Рейнольдса для скорости газа 3 м/с и диаметра электрода 2 мм составит около 300, что не окажет большого влияния на гидравлическое сопротивление циклона. Расчет циклонной части производился с использованием методики НИИОГАЗа [6], при расчете электрической части использовалась методика на основе расчета трубчатого электрофилтра [7].

В этих методиках используются соотношения коэффициента эффективности очистки h как функции от размера частиц пыли d , т.е. $h(d)$. При расчете фракционного коэффициента очистки авторами предложено интегрально учитывать распределение частиц по размерам в пределах каждой фракции. Тогда для фракции, предельные размеры частиц которой составляют d_1 и d_2 ($d_1 < d_2$), коэффициент эффективности очистки вычисляется в виде

$$\eta_{12} = \frac{1}{d_2 - d_1} \int_{d_1}^{d_2} \eta(\xi) d\xi \tag{1}$$

Общий коэффициент очистки, как центробежной, так и электрической, рассчитывается путем суммирования фракционных коэффициентов с учетом процентного содержания каждой фракции.

Расчет эффективности электроциклона предложенной конструкции выполнен при следующих параметрах: диаметр циклонной части 200 мм, условная скорость газа в аппарате 3,5 м/с, рас-

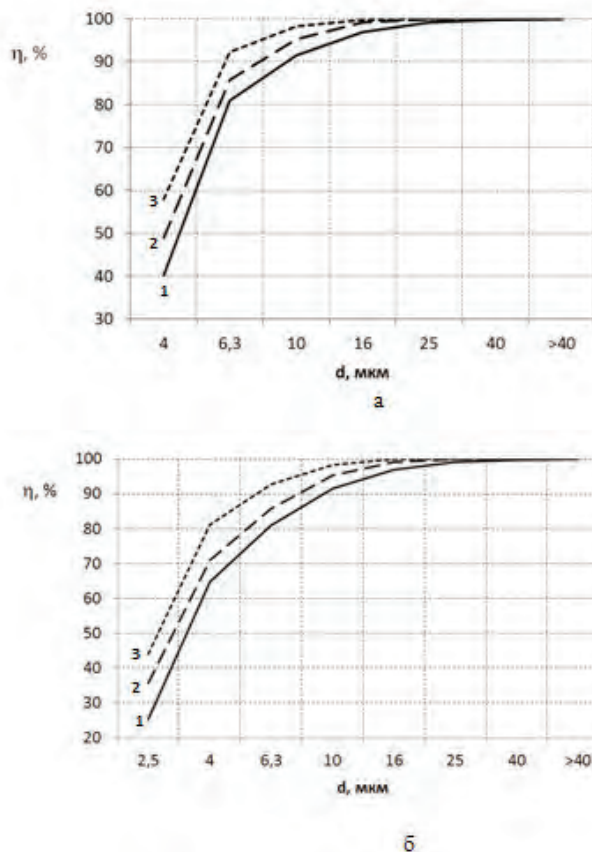


Рис. 2. Фракционный коэффициент очистки: а) пыль № 1, б) пыль № 2. Номера кривых соответствуют режимам очистки (табл. 2)

ход 400 м³/ч, газовая среда воздух, температура 96 °С. Расчеты проводились для двух видов типов пыли (табл. 1) с различными физико-химическими свойствами, аналогичными пылям металлургического производства: 1) плотность 4000 кг/м³, медиана распределения d₅₀ = 45 мкм, дисперсия s = 3,91, 2) плотность 2600 кг/м³, d₅₀ = 12 мкм, s = 3,42. Расчет эффективности улавливания образцов пыли в электроциклоне производился для двух режимов: без подачи напряжения (режим циклона), а также при подаче на коронирующие электроды напряжения 35 и 55 кВ.

Таблица 1. Фракционный состав пылей

Содержание, %	Размер частиц, мкм							
	<2,5	2,5–4	4–6,3	6,3–10	10–16	16–25	25–40	>40
Пыль № 1	4,1	2,9	6	8,5	11	14	53,5	
Пыль № 2	10	7	10	13	20	21	14	5

Результаты расчета (рис. 2) показывают, что добавление электрического поля повышает степень очистки мелких фракций пыли размером до 10 мкм на 10-20 %. При этом общий коэффициент эффективности очистки увеличивается на 2-6 % в зависимости от типа пыли (табл. 2). В промышленных условиях это позволит существенно снизить выбросы мелких, трудно улавливаемых фракций пыли.

Таблица 2. Коэффициент эффективности очистки пыли, %

Режим аппарата	Пыль № 1	Пыль № 2
Циклон	96,09	86,22
Электроциклон, напряжение 35 кВ	97,12	89,31
Электроциклон, напряжение 55 кВ	97,94	92,10

Для практической проверки проведенных расчетов эффективности электроциклона и исследования процесса центробежно-электрической очистки авторами проводятся исследования на опытно-лабораторной установке. Кроме того, предложенная конструкция электроциклона проходит процедуру патентования.

Выводы

Обоснована перспективность модернизации существующего оборудования пылеочистки путем внесения конструктивных элементов электрофильтра в циклон ЦН-15, взятый в качестве базового. Предложена схема электроциклона, в которой используется центробежный и электри-

ческий механизмы осаждения взвешенных частиц, что позволяет повысить степень очистки запыленных газов от пыли мелких фракций.

Проведенными расчетами показано, что введение электрического поля в стандартный циклон повышает общий коэффициент эффективности очистки на 2-6 %. Для мелких фракций размером до 10 мкм фракционный коэффициент эффективности увеличивается на 10-20 %. Таким образом, предлагаемый электроциклон по эффективности приближается к электрофильтрам при значительно меньших габаритах, стоимости, металлоемкости и мощности агрегатов электропитания.

Простота конструкции электроциклона позволяет модернизировать циклоны на различных производствах или изготавливать непосредственно на площадках предприятий, выбрасывающих большие объемы пыли.

Библиографический список

1. Екологічний паспорт Дніпропетровської області. - Дніпропетровськ: Державне управління ОНПС в Дніпропетр. обл., 2012. – 135 с.
2. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2011 рік. - Дніпропетровськ: Державне управління ОНПС в Дніпропетр. обл., 2012. – 193 с.
3. Пат. 2306182 Российская Федерация, МПК⁷ В03 С 3/15. Электроциклон // Кочетов О.С., Кочетова М.О.; заявитель и патентообладатель Кочетов О.С. - № 2006112924/15; заявл. 19.04.2006; опубл. 20.09.2007, Бюл. № 26.
4. Электроциклоны ЭНВКЦ, ЭНВГК.: <http://www.mahp.ustu.ru/index6.html>
5. Петров В.А. К вопросу расчета степени очистки в электроциклоне / Петров В.А., Инюшкин Н.В. - Вестник ТГТУ. – 2010. – Т. 16, №4. С. 841-847.
6. Циклоны НИИОГАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. – Ярославль: Всесоюзное объединение по очистке газов и пылеулавливаю, 1970. – 96 с.
7. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. – М.: Химия, 1967. – 344 с.

Поступила 19.03.2013

