

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ «ЭЛЕКТРОЦИКЛОН»

Д.В. Рудаков, А.Д. Ляховко, Национальный горный университет, Украина

Обосновывается целесообразность применения электроциклона конструкции авторов для очистки пылевых выбросов промышленных предприятий. Приведены результаты испытаний эффективности пылеулавливания опытной установки «Электроциклон». В результате испытаний получены данные, подтверждающие эффективность ее работы.

Введение. Снижение уровня загрязнения атмосферы, уменьшение объема промышленных выбросов и концентрации пыли в воздухе вокруг промышленных предприятий напрямую связано с совершенствованием конструкций пылеулавливающих аппаратов, прежде всего за счет улучшения технико-экономических показателей. Обоснование целесообразности их внедрения в реальное производство требует выполнения теоретических и прикладных исследований, позволяющих определить эффективность работы пылеуловителя.

Состояние вопроса. Весь спектр современного пылеулавливающего оборудования можно условно разделить на аппараты грубой очистки (пылеосадочные камеры, циклоны) и аппараты тонкой очистки (например, рукавные фильтры и электрофильтры). Аппараты тонкой очистки имеют высокую степень улавливания (до 99%), однако обладают целым рядом существенных недостатков, основные из которых – сложность конструкции, большая площадь размещения аппаратов, высокая стоимость очистки, необходимость поддержания оптимальных режимов работы (например, скорости газов в аппарате), зависимость эффективности улавливания от физико-химических свойств пыли. Эти факторы служат серьезным препятствием на пути переоснащения промышленных предприятий эффективными пылеулавливающими устройствами, что, в свою очередь, негативно влияет на экологическую обстановку промышленных регионов.

Альтернативой современным дорогостоящим электрофильтрам являются электроциклоны – аппараты на основе циклонов, использующие одновременно центробежные и электрические механизмы осаждения частиц. Обладая высокой эффективностью пылеулавливания, электроциклоны имеют ряд преимуществ по сравнению с электрофильтрами – компактность, меньшая металлоемкость и энергопотребление, что в итоге позволяет существенно снизить стоимость очистки газов при сохранении высокой эффективности.

Известен целый ряд прямо- и противоточных электроциклонов, отличающихся размерами, формой и конструктивными особенностями [1, 2]. Анализ данных электроциклонов позволил выявить ряд недостатков – применение нетехнологичных конструктивных элементов, нерациональная схема их размещения в аппарате, спорные инженерные решения в некоторых элементах. Все это приводит к чрезмерному усложнению базовой конструкции аппарата, увеличению стоимости используемого оборудования и степени очистки, и, в конечном итоге невозможности его модернизации непосредственно на промышленных предприятиях.

Основная задача исследований состояла в создании простого, технологичного и эффективного электроциклона на базе применяемых и наиболее распространенных на производстве циклонов типа ЦН с минимальным внесением изменений в конструкцию. Реализация этой задачи позволит проводить модернизацию существующего пылеулавливающего оборудования силами служб охраны окружающей среды предприятий, экономя значительные средства на покупку нового оборудования, повысить степень улавливания пыли, что в конечном итоге положительно скажется на состоянии воздушной среды, условий жизни людей в промышленных регионах и экологической безопасности.

Ранее авторами был запатентован электроциклон оригинальной конструкции [3]. Для определения его технико-экономических показателей были выполнены расчеты общей и фракционной эффективности пылеулавливания на основе методик, применяемых для расчета эффективности пылеулавливания циклонов и электрофильтров [4, 5]. Были обоснованы кон-

структивные решения, проведен технико-экономический анализ целесообразности применения электроциклона [6, 7]. Результаты теоретических исследований показали высокую эффективность предлагаемого электроциклона.

Постановка задачи. Задачей данной работы является создание опытной установки «Электроциклон» в натуральную величину и проведение испытаний ее работы в различных режимах, что позволит на практике подтвердить эффективность пылеулавливания и расчетные технико-экономические показатели электроциклона предлагаемой конструкции.

Изложение основного материала. Для проведения исследований была создана опытная установка «Электроциклон» (рис. 1). С целью максимальной достоверности результатов исследований в качестве основы установки был выбран циклон ЦН 15-200, широко применяющийся в заводских условиях. В цилиндрической части корпуса электроциклона расположены 4 коронирующих электрода в виде шестигранников остроконечной формы. С учетом, винтообразной формы крышки электроциклона, на которой закреплены электроды, они выполнены секционированными по длине. Это сделано для того, чтобы нижние концы электродов, являющиеся точками коронирования, находились на одном уровне.

Источником питания опытной установки служит агрегат питания электрофильтра АТФ-400. Источником подачи воздуха является центробежный вентилятор низкого давления типа ВЦУ 2Е, который обеспечивает расход воздуха в пределах до 1200 м³/час. Регулировка расхода воздуха осуществляется клапаном ограничения подачи воздуха, установленного на фланце всасывающего отверстия вентилятора. Скорость и расхода воздуха в системе контролируются с помощью показаний анемометра, установленного в воздуховоде. Электроциклон установлен на нагнетающей стороне вентилятора.

Между вентилятором и циклоном установлена система дозированной подачи исследуемого материала, состоящая из емкости для пыли, патрубков и шарового крана. В сочетании с регулируемым расходом воздуха это позволяет точно устанавливать необходимые показатели запыленности газового потока в широких пределах (1-50 г/м³), что достаточно для моделирования пылеулавливания промышленных газов.

Измерение давления воздуха в системе производится с помощью пневмометрических трубок и дифференциального манометра. Точки измерения давлений находятся до и после электроциклона, что позволяет определить потерю давления, а также расход воздуха по замеренным динамическим давлениям.

Для измерения массы уловленной пыли в опытной установке установлен отстойник-пылеуловитель оригинальной конструкции (рис. 2). Он представляет собой герметичную емкость с входным и выходным отверстиями. Запыленный воздух, прошедший электроциклон, попадает в отстойник через входное отверстие, теряет скорость и выходит через выходное отверстие. Для исключения безвозвратного уноса пыли выходное отверстие отстойника оснащено фильтрующим элементом низкого сопротивления типа Іх2885. Такая конструкция позволяет полностью улавливать пыль, прошедшую электроциклон, при этом общее гидравлическое сопротивление опытной установки повышается незначительно, в пределах 5-10%. После проведения каждого опыта пыль, уловленная в электроциклоне и отстойнике взвешивается, лабораторными методами определяется размер частиц и фракционный состав, на основании чего определяется эффективность пылеулавливания с высокой точностью (около 98%).

Корпус электроциклона, агрегат питания, рама вентилятора и фильтр отстойник заземлены. Воздуховоды и переходные соединения опытной установки загерметизированы во избежание утечек и подсосов воздуха.

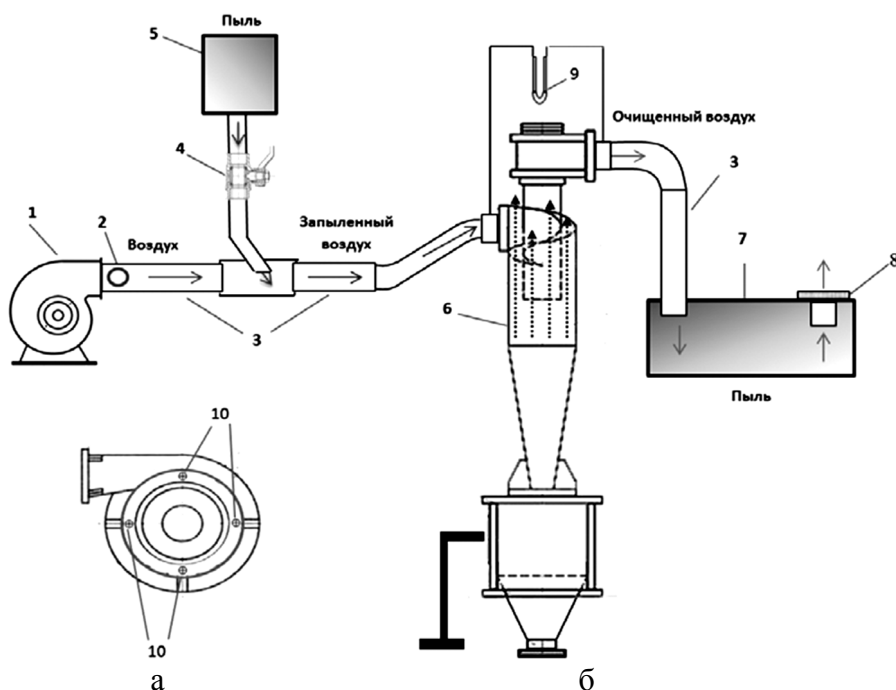


Рис.1. Схема опытной установки «Электроциклон»:

а) поперечное сечение корпуса, б – общий вид.

Условные обозначения: 1 – центробежный вентилятор; 2 – анемометр; 3 – воздуховоды; 4 – кран регулировки подачи исследуемого загрязнителя; 5 – бункер с пылью; 6 – электроциклон; 7 – отстойник-пылеуловитель; 8 – фильтрующий элемент; 9 – дифференциальный манометр; 10 – коронирующие электроды.



Рис. 2. Отстойник-пылеуловитель, используемый в опытной установке

Методика исследований. Испытания проводились в соответствии с методиками опытных испытаний пылеуловителей [8].

В ходе проведения испытаний для получения точных результатов контролировались следующие параметры:

- аэродинамические характеристики центробежного вентилятора - объем подаваемого воздуха в опытную установку;
- скорость движения газопылевой смеси;
- динамическое давление в различных точках трубопроводов опытной установки;
- вольтамперные характеристики агрегата питания электроциклона;
- расход пыли, подаваемой в установку.

Для проведения исследований были отобраны два образца пыли различных участков агломерационного производства с известными физико-химическими свойствами (табл. 1) и фракционным составом (рис. 3):

- 1) пыль агломерационного производства (участок после зоны спекания)
- 2) пыль участка сортировки агломерата.

Таблица 1. Основные свойства исследуемых типов пыли

	Плотность частиц, кг/м ³	Медиана распределения частиц по размерам d ₅₀ , мкм	Дисперсия частиц пыли (d ₅₀ /d ₁₆)
Пыль №1	4000	45	3,91
Пыль №2	2600	12	3,42

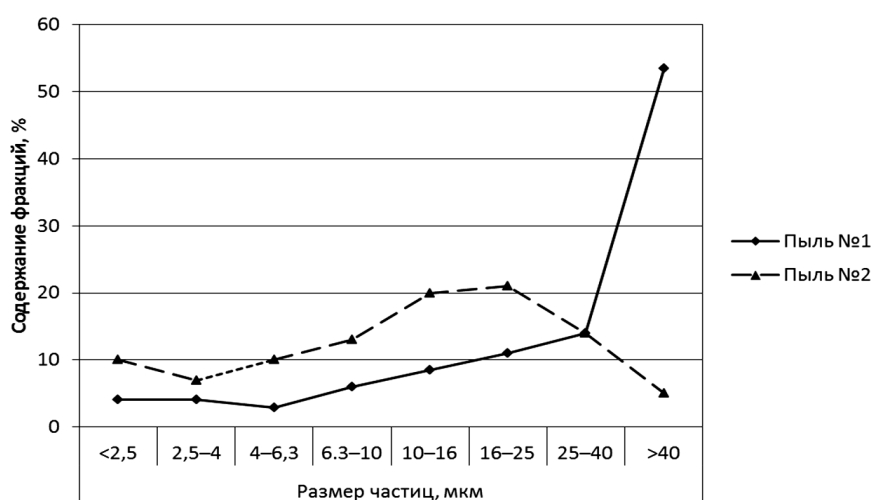


Рис.3. Фракционный состав исследуемых типов пыли

Испытания эффективности опытной установки проводились:

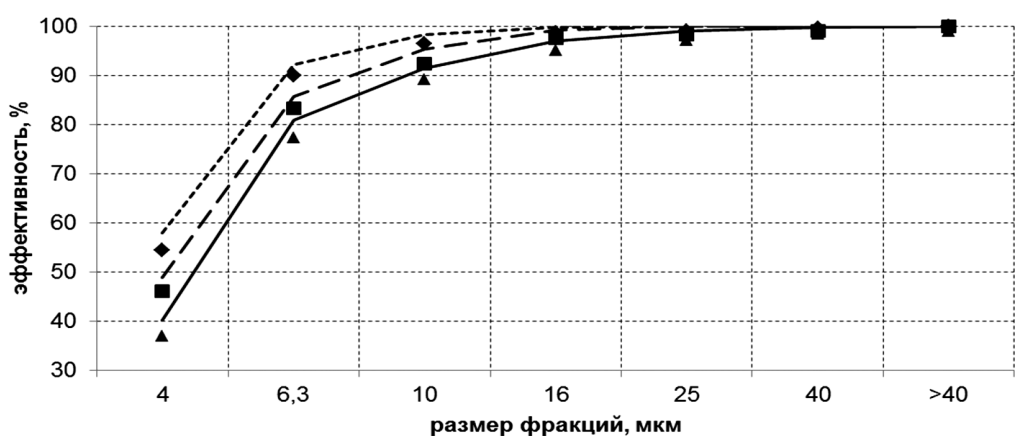
- 1) в режиме циклона (без подачи напряжения на коронирующие электроды);
- 2) в режиме электроциклона (подача на коронирующие электроды постоянного напряжения) 35 кВ и 55 кВ.

Испытания проводились при следующих параметрах: расход газа 500 м³/час, скорость газа входящая 15 м/с, запыленность газа входящая 3,05 г/м³, скорость газа в аппарате 4 м/с, гидравлическое сопротивление аппарата 0,8 кПа, температура газа носителя 80 °С, давление 101 кПа, влажность 80 г/м³. Результаты испытаний опытной установки «Электроциклон» приведены в табл. 2. Сравнение опытных данных и результатов расчета фракционной эффективности пылеулавливания представлено на рис. 4 и 5.

Опытным путем был установлен оптимальный диапазон скоростей газового потока на входе в аппарат (10–15 м/с). Режим потока газа в аппарате является турбулентным, при этом число Рейнольдса составляет около 15000. При больших скоростях потока увеличивается его турбулизация, что приводит к снижению эффективности пылеулавливания (особенно мелких фракций) за счет их вторичного выноса из бункера. Кроме того, при увеличении входящих скоростей газового потока повышается гидравлическое сопротивление аппарата. Внесение коронирующих электродов в корпус электроциклона повышает гидравлическое сопротивление системы незначительно.

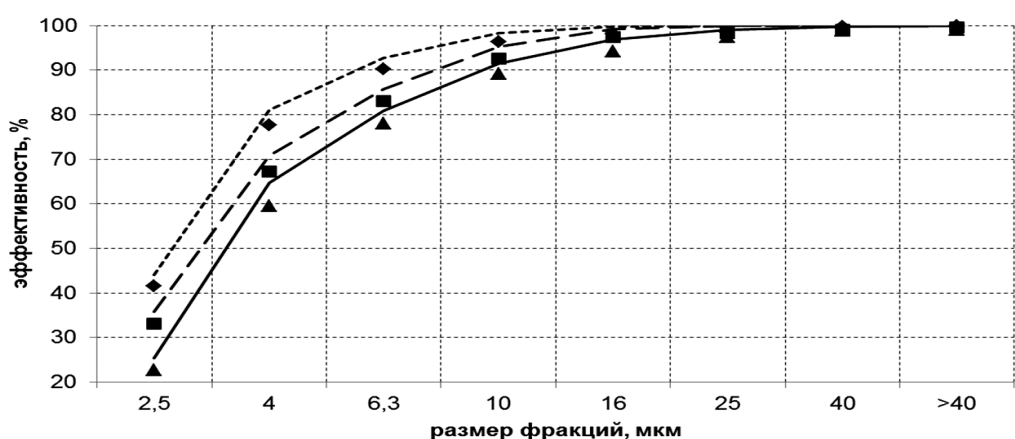
Таблица 2. Показатели эффективности пылеулавливания установкой «Электроциклон»

№	Характеристика	Пыль №1			Пыль №2		
		Циклон	Электроциклон, 35 кВ	Электроциклон, 55 кВ	Циклон	Электроциклон, 35 кВ	Электроциклон, 55 кВ
1	Режим аппарата						
2	Напряженность электрического поля, кВ/м	0	550	640	0	550	640
3	Запыленность выходящая мг/м ³	140	120	90	150	135	115
4	Общая эффективность улавливания пыли, %	96,0	97,1	97,9	86,2	89,3	92,1



◆ Электроциклон 55 кВ - опыт ■ Электроциклон 35 кВ - опыт ▲ Циклон - опыт
 - - - - Электроциклон 55 кВ - расчет - · - · - Электроциклон 35 кВ - расчет — Циклон - расчет

а)



◆ Электроциклон 55 кВ - опыт ■ Электроциклон 35 кВ - опыт ▲ Циклон - опыт
 - - - - Электроциклон 55 кВ - расчет - · - · - Электроциклон 35 кВ - расчет — Циклон - расчет

б)

Рис. 4. Фракционная эффективность опытной установки по очистке газа:
 а) от пыли №1, б) от пыли №2

Эффективность улавливания пыли без подачи напряжения находится в диапазоне этого же показателя для промышленного циклона ЦН 15-200, на основе которого создана опытная установка: от 80% до 95% в зависимости от типа пыли и режима работы [9].

Анализ продувок показывает, что эффективность улавливания пыли №1 в электроциклоне при одинаковых условиях проведения исследований выше на 5-10%. Это объясняется различием основных физико-механических свойств образцов пыли: большей плотностью частиц, медианой их распределения и дисперсией.

Выводы. Опытная установка «Электроциклон» для улавливания пыли из промышленных газов была создана в соответствии с конструкцией, запатентованной авторами ранее. По сравнению с обычным циклоном, эффективность пылеулавливания увеличивается за счет осаждения мелких частиц электрическим полем, создаваемым добавленными электродами.

Проведены испытания эффективности установки без подачи напряжения (режим циклона) и с подачей постоянного напряжения на коронирующие электроды (режим электроциклона). Результаты испытаний опытной установки в целом подтвердили проведенные ранее теоретические оценки ее эффективности. Сопоставление расчетной и опытной фракционной эффективности показало незначительные отличия, не превышающие 10% для мелких фракции, и 2-3% для фракций с частицами крупнее 10 мкм.

Отличия показателя общей эффективности пылеулавливания, полученного расчетным и экспериментальным путем, не превышают 5% как в режиме циклона, так и при подаче напряжения 35-55 кВ. Это свидетельствует об адекватности расчетной модели пылеулавливания созданной опытной установки.

Предлагаемый электроциклон рекомендуется для внедрения в системы очистки газообразных выбросов металлургического производства от пыли.

Список литературы

1. Кочетов О.С., Кочетова М.О.; Заявитель и патентообладатель Кочетов О.С. Пат. 2306182 Российская Федерация, МПК7 В03 С 3/15 Электроциклон. № 2006112924/15; заявл. 19.04.2006; опубл. 20.09.2007, Бюл. №26.
2. Электроциклоны ЭНВКЦ, ЭНВГК [Электронный ресурс] : сайт Уральского Государственного Технического Университета. Режим доступа: <http://www.mahp.ustu.ru/index6.html>
3. Ляховко О.Д., Рудаков Д.В.; Власник ДВНЗ Національний гірничий університет. Пат. 105682 Україна, МПК В03 С 3/15 Электроциклон. № а201208511; заявл. 10.07.2012; опубл. 10.06.2014, Бюл. №11/2014.
4. Циклоны НИИОГАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации / Всесоюзное объединение по очистке газов и пылеулавлианию. Ярославль: 1970. – 96 с.
5. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами / В.Н. Ужов. – М.: Химия, 1967. – 344 с.
6. Рудаков Д.В. Обоснование применения электроциклона для очистки пылевых выбросов металлургических предприятий / Д.В. Рудаков, А.Д. Ляховко // Металлургическая и горнорудная промышленность – Д., 2013. – № 4. – С. 128 – 131.
7. Рудаков Д.В. Перспективы применения электроциклона для снижения объемов пылевых выбросов металлургических предприятий (на примере г. Днепропетровска) / Д.В. Рудаков, А.Д. Ляховко // Збірник наукових праць НГУ : наук.-техн. зб. – Д., 2013. – № 41. – С. 134 – 139.
8. ГОСТ 17.2.4.06-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения : ГОСТ 17.2.4.06-90. – М.: ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, 1990. – 12 с. – (МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ).
9. Страус В. Промышленная очистка газов / В. Страус. – М.: Химия, 1981. – 616 с.