

DOI: 10.12737/22434

Подпороинов Б.Ф., канд. техн. наук, доц.,  
Семенов А.С., ст. преп.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИХ АППАРАТОВ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ

tg.v.bel@gmail.com

В статье проанализированы основные тенденции в области разработки инерционных пылеуловителей циклонного типа, а также зернистых фильтров как в отечественном, так и зарубежном опыте. Более подробно рассмотрены конструкции пылеулавливающих аппаратов, предложенных кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции БГТУ им. В.Г. Шухова. Рассмотрены факторы, обеспечивающие повышение эффективности пылеулавливания, расчетные зависимости для определения эффективности пылеулавливания и гидравлического сопротивления комбинированного зернистого фильтра при улавливании цементной пыли.

**Ключевые слова:** пылеочистка, циклон, зернистый фильтр, эффективность пылеочистки.

**Введение.** Возросший объем промышленного производства выдвинул в качестве первоочередной задачи охрану окружающей среды [1]. Загрязнение промышленными и вентиляционными выбросами оказывает вредное воздействие на человека и животных, растения и почву, здания и сооружения, снижает прозрачность атмосферы, ухудшает качество воздушной среды, ускоряет коррозию металлических изделий.

В этих условиях все большее значение приобретает проблема защиты воздушного бассейна городов и предприятий от пылегазовых выбросов [1–5].

При этом важной задачей является разработка перспективных пылеулавливающих аппаратов [4–8], обеспечивающих высокую эффективность очистки выбросов и уменьшение энергозатрат на очистку.

**Методика.** Отечественный [1–3] и зарубежный [4–5] опыт показывает, что при обеспыливании промышленных и вентиляционных выбросов широкое распространение получили сухие инерционные пылеуловители циклонного типа вследствие простоты в изготовлении, монтаже и эксплуатации, достаточно высокой эффективности при уменьшении гидравлического сопротивления.

К недостаткам циклонов относятся: пониженная эффективность улавливания пылей менее 5 мкм, повышенное сопротивление высокоэффективных циклонов – 1200...1800 Па, забиваемость слипающимися пылями и интенсивный износ при улавливании высокоабразивных пылей

В последнее время проводятся исследования [6–8], направленные на повышение эффективности циклонных аппаратов, особенно при улавливании пылевых частиц средней дисперсности (10...30 мкм), поскольку применение в этом диапазоне рукавных фильтров и электро-

фильтров влечет за собой неоправданно большие затраты.

**Основная часть.** Исследования в области повышения эффективности пылеулавливающих аппаратов, в основном, направлены на разработку мероприятий по совершенствованию конструкции циклонных аппаратов, целесообразно выделить некоторые из них.

Установка осевой цилиндрической вставки в пылевыпускном отверстии позволяет, наряду со снижением гидравлического сопротивления циклона, снизить вторичный унос пыли, т.е. повысить эффективность очистки в аппарате. Эта вставка отделяет полость бункера от полости корпуса и позволяет усилить нисходящие и ослабить радиальные течения потока в нижней части корпуса циклона, что снижает в 3...5 раз вторичный унос уловленной пыли из бункера и тем самым уменьшает в 1,5...2 раза выброс пыли в атмосферу.

Как средство повышения эффективности и производительности циклонов следует рассматривать так называемую комбинированную подачу запыленных потоков на входе аппарата и вдоль его оси навстречу друг другу.

Испытания показали, что производительность циклонов с комбинированной подачей запыленных потоков увеличивается в 1,4...1,5 раза при гидравлическом сопротивлении, равном сопротивлению нормализованных аппаратов, а вторичный пылеунос сокращается в 3...4 раза.

Одним из путей повышения эффективности циклонов является использование эжекции выделенного продукта из бункера циклона с частью несущего газового потока. Указанный принцип заложен в конструкцию циклона – пылеконцентратора БГТУ им. В.Г. Шухова [9, 10]. В отличие от известных конструкторских решений данный аппарат не требует дополнительного побудителя тяги, так как отсос газа из бунке-

ра осуществляется за счет перепада давления в бункере и выхлопном патрубке циклона. Очистка отбираемого запыленного потока осуществляется в фильтре, расположенном между корпусами бункера и циклона. Как показали проведенные исследования, такое решение позволяет в 2 раза снизить выброс пыли из аппарата и уменьшить на 15...20 % его гидравлическое сопротивление.

Схема двухступенчатого циклона – пылеконцентратора, разработанного в БГТУ им. В.Г. Шухова, представляет собой конструкцию прямоточного циклона с отводом пылегазового концентрата, внутри которого расположен противоточный циклон. Прямоточный циклон является первой ступенью, а противоточный – второй. Гидравлическое сопротивление обеих ступеней сопоставимо с сопротивлением циклона ЦН-11 при более высокой эффективности очистки.

Перспективна конструкция циклона с установленными в выхлопной трубе направленными лопатками, разработанная и исследованная в БГТУ им. В.Г. Шухова [6, 11]. Применение такого циклона обеспечивает заметный выигрыш в потерях давления без снижения эффективности очистки.

Благоприятно складывается на работе циклонов уменьшение запыленности пылегазового потока. С этой целью в БГТУ им. В.Г. Шухова разработан ряд конструктивных решений по усовершенствованию конструкций аспирационных укрытий [12, 13], обеспечивающих уменьшение пылеуноса из пылящего оборудования и в конечном счете повышение эффективности циклонов и других пылеуловителей.

Достаточно важной проблемой является защита корпусов циклонов от абразивного износа. Абразивному износу проточной части циклонов способствует многовитковое вращение газового потока, несущего дисперсную фазу. В результате этого вращения и возникающих центробежных сил происходит концентрирование твердых абразивных частиц у стенок аппарата, следствием чего является эрозия, т.е. истирание стенок вплоть до образования сквозных отверстий. Скорость такого истирания в отдельных случаях может достигать 12 мм в год.

Основными мерами повышения износостойкости циклонов в настоящее время являются следующие: нанесение на изнашиваемую поверхность какого-либо износостойкого покрытия; применение материалов, более стойких к износу в данных условиях; изменение конструкции циклонов, приводящее к ослаблению износа за счет аэродинамического течения газа. Довольно часто эффективной работе циклонов мешает отложение

сильнослипающихся пылей на внутренних поверхностях; одним из средств борьбы с этим явлением может явиться применение циклонов с полированной внутренней стенкой. Исключительно эффективным средством борьбы с залипанием является обеспечение эластичности стенок циклонов, например, путем применения резины, которая периодически подвергается деформации с целью очистки.

На отдельных технологических линиях (например, производств силикатного кирпича, чугуна, сантехнического литья и т.д.) образуются паропылевые вентиляционные выбросы. При обеспыливании которых нашли применение циклоны с пористой стенкой, у которых регенерация отложившейся пыли осуществляется обратной продувкой сжатым воздухом. Довольно широкое применение получило также подвешивание цепей, свободное движение которых при действии потока воздуха устраняет налипание пыли на стенках циклона. Основным же на сегодняшний момент времени, при обеспыливании паропылевых смесей, является способ термоизоляции, не допускающий конденсации водяных паров, вызывающей отложения пыли.

В последнее время в технике пылеулавливания все чаще находят применение фильтрующие аппараты с насыпными фильтрующими слоями зернистых сыпучих материалов (зернистые фильтры). Преимущества этих аппаратов: малая стоимость, компактность, доступность фильтрующих материалов, возможность работать при очень высоких температурах и в условиях агрессивной среды, выдерживать большие механические нагрузки и резкие изменения температуры, - определяют все более широкое применение зернистых фильтров для очистки пылегазовых выбросов.

В БГТУ им. В.Г. Шухова разработана и внедрена перспективная конструкция высокоэффективного комбинированного зернистого фильтра [14], в котором площадь поверхности зернистого слоя меньше площади поверхности фильтровальной ткани, а диаметр корпуса фильтра, корпуса зернистой насадки и выходного перфорированного патрубка равны  $D_2 = (0,85...0,9)D_1$ ,  $D_1 = (0,85...0,9)D$ .

Запыленный газовый поток по тангенциальному патрубку 2 входит во внутреннюю полость циклонного элемента, где под действием центробежных сил крупные частицы пыли выделяются из потока и оседают в конической части бункера пыли 3. Пыль, освобожденная от крупных частиц, направляется вверх через отверстие газопроницаемой перегородки 5 и проходит через фильтрующий зернистый слой 6, где очищается и проходит через фильтроваль-

ную ткань 11, расположенную на перфорированной части выходного патрубка 9, где происходит окончательная очистка газового потока от мельчайших частиц пыли. Очищенный газовый поток выходит из фильтра по патрубку 9.

Регенерация фильтра осуществляется в следующей последовательности. Включается привод ворошителя и одновременно через патрубок обратной продувки 12 подается сжатый воздух, который поступает в полый вал ворошителя. Оттуда через отверстия сжатый воздух поступает в полую рамку 14, которая на вертикальных стойках имеет отверстия. При вращении рамки воздух очищает ткань, забитую мелкими частицами, которые выпадают на зернистый слой.

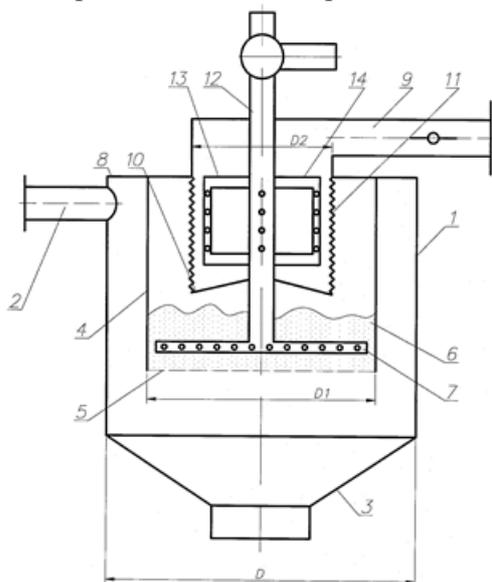


Рис. 1. Комбинированный зернистый фильтр:

- 1 корпус фильтра; 2 циклонный элемент с тангенциальным патрубком для входа запыленных газов;
- 3 конический бункер пыли; 4 корпус для зернистого материала, 5 газопроницаемая перегородка;
- 6 фильтрующий зернистый слой; 7 ворошитель, выполненный в виде полого вала с окнами;
- 8 крышка; 9 патрубок очищенного газа;
- 10 коническое днище; 11 фильтровальная ткань;
- 12 патрубок обратной продувки; 13 рамка поляя;
- 14 сопла для прохода сжатого воздуха

Очистка фильтрующего зернистого слоя в процессе фильтрации запыленных газов осуществляется при помощи вращающегося ворошителя 7, в который через патрубок обратной продувки 12 подается сжатый воздух. Частицы пыли выделяются из зернистого слоя и под действием гравитационных сил оседают в бункере пыли 3.

В результате обработки экспериментальных данных авторами [15] получены расчетные зависимости для определения эффективности пылеулавливания и гидравлического сопротивления комбинированного зернистого фильтра при улавливании цементной пыли.

Относительный проскок пыли через зернистый фильтр, а также связанная с ним эффективность очистки запыленных газов  $\eta$  являются функциями критериев, определяющих рассмотренные выше основные механизмы улавливания пыли и некоторых других безразмерных величин.

Критериальная зависимость проскока цементной пыли через насыпной слой, аппроксимирующая результаты эксперимента, имеет вид:

$$K = 1,43 \cdot 10^{-4} \text{Re}^{0,775} \text{Stk}^{-0,372} \text{Ho}^{-0,372} \left(\frac{d_k}{h}\right)^{-1,014} \left(\frac{Z_u}{\rho}\right)^{-0,451} \quad (1)$$

Полная эффективность комбинированного пылеуловителя определяется по формуле:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_u)K(1 - \eta_m), \quad (2)$$

Полное гидравлическое сопротивление пылеуловителя равно сумме сопротивлений его ступеней:

$$\Delta p = \Delta p_u + \Delta p_z + \Delta p_m \quad (3)$$

и в зависимости от продолжительности фильтрования может изменяться в пределах от 100 до 3000 Па.

Рациональными параметрами комбинированного зернистого фильтра являются: высота слоя фильтрующего материала 100...150 мм, средний размер зерна зернистой насадки 3,0...3,5 мм, запыленность входного воздуха 6...7 г/м<sup>3</sup> и время его фильтрации более 40 мин.

В зависимости от продолжительности фильтрования эффективность пылеулавливания комбинированного зернистого фильтра может изменяться от 97 до 99,97%.

**Выводы.** До настоящего времени вопросам развития исследований теоретических основ работы, принципам конструирования, инженерного расчета и проектирования высокоэффективных энергосберегающих аппаратов и установок для очистки вентиляционных выбросов пылящего технологического оборудования уделялось недостаточно внимания.

Материалы, приведенные в издании, дают научным и инженерно-техническим работникам, проектировщикам и аспирантам возможность:

- ознакомиться с теоретическими основами работы и конструктивными особенностями оборудования, применяемого для очистки пылевых промышленных вентиляционных выбросов;
- изучить достоинства и недостатки, методы оценки эффективности и область применения различных групп пылеуловителей;
- освоить методы теоретического и экспериментального исследования работы, современные инженерные методики расчета и конструирования пылеочистных аппаратов;

- разрабатывать научно-обоснованные технические решения по усовершенствованию конструкций перспективных пылеулавливающих аппаратов, обеспечивающих повышение их эффективности и уменьшение энергозатрат на очистку.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минко В.А., Логачев И.Н., Логачев К.И., Подпоринов Б.Ф., Семиненко А.С. и др. Обеспыливающая вентиляция (том 2); под общ. ред. В.А. Минко // Белгород: изд-во БГТУ, 2010. 565 с
2. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. // Санкт-Петербург: Химиздат. 2005. 659с
3. Уваров В.А., Подпоринов Б.Ф., Семиненко А.С. Методы и средства очистки вентиляционных выбросов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 96 с.
4. Huque, S. T., P. Donecker, J. J. Rozentals and C. W. Benjamin, 2010. The Transfer Chute Design Manual: For Conveyor Belt Systems. Conveyor Transfer Design Pty. Limited, pp. 272 p.
5. Howard, L. Hartman, J. M. Mutmanky, R. V. Ramani and Y. J. Wang, 1997. Mine Ventilation and Air Conditioning. Wiley-Interscience, pp.752.
6. Чалов В.А. Теоретическое обоснование конструктивного совершенствования центробежного пылеуловителя // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 68–70.
7. Смирнов М.Е. Разработка метода расчета и усовершенствование конструкции вертикального прямооточного циклона: дис. ... канд. тех. наук: 05.17.08 / Ярославль, 2001. 146 с.
8. Темникова Елена Юрьевна. Исследование эффективности пылеулавливания в циклоне с рельефными поверхностями: дис. ... канд. тех. наук: 05.26.01 / Кемерово, 2010. 175 с.
9. Минко В.А., Овсянников Ю.Г., Логачев И.Н. Пылеконцентратор рециркуляционных систем местной обеспыливающей вентиляции// Современные проблемы строительного материаловедения: материалы 7-х академ. чтений РААСН / Белгор. гос. технол. ун-т. Белгород, 2001.
10. Циклон, а.с. 1639768 СССР/ В.А. Минко, Ю.Г. Овсянников, С.А. Трищенко, М.И. Кулешов. - № 4388528; заявл. 04.03.1988; опубл. 07.04.1991, Бюл. 13.
11. Циклон, патент 106147 РФ / В.А. Чалов, Л.А. Кушев, В.Г. Шаптала. Опубл. 10.07.2011.
12. Feoktistov, A. Yu., S. V. Staroverov, A. B. Goltsov, V. M. Kireev. Design of aspiration shelters for constricted conditions. Chemical and Petroleum Engineering. 2013, Volume 49, Issue 3-4, pp 261–2645.
13. Averkova, O.A., I.N. Logachev, K.I. Logachev, I.V. Khodakov Modeling detached flows at the inlet to round suction flues with annular screens. Refractories and Industrial Ceramics, 2014, 5 (54):. 425–429.
14. Зернистый фильтр: пат. 107484 РФ: МПК7 B01D46/30 / В.С. Богданов, Р.Р. Шарапов, С.Ю. Кабанов; БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2010152389/05; заявл. 21.12.2010; опубл. 20.08.2011, Бюл. № 23.
15. Шарапов Р.Р., Уваров В.А., Кабанов С.Ю. Зернистые фильтры со стационарным фильтрующим слоем. Белгород: изд-во БГТУ, 2011. 120 с.

**Podporinov B. F., Seminenko A. S.**

### WAYS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF DUST REMOVAL DEVICES IN CLEANING SYSTEMS FOR EXHAUST AIR

*The article analyzes the main trends in the development of inertial cyclone type and granular-bed filters in both domestic and foreign experience. In more, detail the design of dust removal devices proposed by the Department of heat and ventilation BGTU named V. G. Shukhov. Examines the factors that enhance the effectiveness dust cleaning, the calculated dependences for determining the effectiveness of dust suppression and hydraulic resistance of the combined granular filter to capture cement dust.*

**Key words:** dust cleaning, cyclone, coarse filter, efficiency of dust cleaning

**Подпоринов Борис Федорович**, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: podporinov.bf@gmail.com

**Семиненко Артем Сергеевич**, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: seminenko.as@gmail.com