

Всероссийское СМИ

«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: akademnova.ru

e-mail: akademnova@mail.ru

Альмухаметова С.Г. Оценка эффективности систем очистки воздуха от пыли в угольных складах // Материалы по итогам VII-ой Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы современности: взгляд молодых исследователей», 10 – 20 мая 2019 г. – 0,3 п. л. – URL: http://akademnova.ru/publications_on_the_results_of_the_conferences

СЕКЦИЯ: Технические науки

С.Г. Альмухаметова

**аспирант 1-го года обучения, кафедра безопасности производств,
Горный факультет, Санкт-Петербургский горный университет,
Научный руководитель: Гендлер С.Г., д.т.н., профессор,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация**

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ В УГОЛЬНЫХ СКЛАДАХ

Аннотация: Анализ процессов складирования и погрузочно-разгрузочных работ на закрытых складах угля показал, что одним из наиболее вредных производственных факторов является высокая запыленность воздуха на рабочих местах, а также вынос пыли за пределы производственных помещений, что приводит к загрязнению окружающей среды.

Проводимые в настоящее время на данном производстве мероприятия по очистке загрязненного воздуха от пылевых частиц включают две стадии. На первой – происходит предварительное осаждение более крупных частиц (диаметром свыше 10 мкм) в циклоне ЦН-15, на второй – улавливание более мелких частиц (размером 5 мкм) за счет применения полого промывного скруббера, работающего на оборотной воде системы орошения.

Применяемая система обеспыливания характеризуется низкой эффективностью очистки воздуха и высокими энергетическими затратами. Для устранения данных предлагается заменить используемые в настоящее время аппараты, которые были указаны выше, циклоном пленочного орошения с уменьшенным диаметром.

Для подтверждения эффективности предлагаемого технического решения были проведены исследования на циклонах с диаметром 0,113 мм и 0,05 мм. В ходе экспериментов определялись параметры пылегазового потока на входе и выходе из аппаратов: объемный расход воздуха, концентрация и дисперсный состав пыли. Результаты проведенных исследований показали, что использование предлагаемого технического решения в системах пылеочистки воздуха в закрытых складах угля позволит снизить эксплуатационные затраты на 52% и повысить эффективность пылеудаления до 98% при диаметре частиц более 3 мкм, по сравнению с традиционной технологией. Предлагаемое техническое решение может быть использовано и для очистки воздуха от абразивной пыли различного происхождения, например, угольной, древесной, известняковой и т.д.

Ключевые слова: распространение пыли, пылевоздушная смесь, запыленность, очистка воздуха, циклон, пылеулавливание, эффективность, гидравлическое сопротивление.

Техническое перевооружение угольной промышленности и применение мощной техники способствует увеличению запыленности воздуха в рабочих зонах, достигающей в настоящее время 2000 мг/м и более [1]. Поэтому борьба с пылью на угольных разрезах, а конкретно в угольных складах, вошла в число наиболее важных народнохозяйственных проблем, предусматривающих

необходимость разработки комплекса эффективных мероприятий, направленных на обеспечение нормальных санитарно-гигиенических условий труда [2].

Угольная пыль на закрытых складах образуется, в основном, при механическом воздействии на уголь, то есть, при проведении погрузочно-разгрузочных работ во время транспортировки, пересыпки угля с конвейера на конвейер [5].

Существует несколько методов борьбы с угольной пылью в морских портах. Прежде всего, за счет применения технологии организации производства таким образом, чтобы механическое воздействие на груз производилось как можно реже [4,9].

Потенциальный выброс пыли достигает 23 кг на тонну угля [5]. Как показывают выполненные замеры, запыленность производственных помещений составляет 9-11 мг/м³ при ПДК=6 мг/м³ [2]. При этом, угольная пыль содержит до 70 % частиц размером менее 20 мкм [5].

Очистка воздуха от пыли при производстве угля предусматривает две ступени. На первой ступени осуществляется предварительная очистка воздуха, при которой улавливаются частицы пыли в основном с размером 20-10 мкм. Для этого используется циклон ЦН-15, который имеет эффективность пылеулавливания 81,2 % для частиц пыли диаметром более 10 мкм. Аппарат имеет внутренний диаметр 1200 мм и гидравлическое сопротивление $\Delta P = 1250-1500$ Па [8].

На второй ступени применяется форсуночный противоточный скруббер (ПВП) с эффективностью пылеулавливания – 80,1 % при диаметре частиц более 5 мкм, гидравлическое сопротивление аппарата $\Delta P = 250$ Па. Скруббер характеризуется высоким расходом воды через форсунки, составляющим 12

л/мин, и работает на водооборотной системе орошения. Сточные воды, выведенные после очистки воздуха скруббером, поступают на существующую очистку поверхностных вод [16].

Описанная система обеспыливания является недостаточно эффективной и достаточно затратной (из-за высокого гидравлического сопротивления в циклоне ЦН-15).

В качестве альтернативного решения данной проблемы, предлагается замена существующих аппаратов на циклон пленочного орошения с меньшим диаметром (ЦВП-6). Таким образом, будет повышена эффективность пылеулавливания с уменьшением эксплуатационных затрат. По характеристикам эффективность пылеулавливания составляет 98% при диаметре частиц более 3 мкм [10,15]. Данный мокрый пылеуловитель применим для улавливания любых видов не цементирующейся пыли средней и мелкой дисперсности, в том числе образующей при обработке и транспортировки песка, глины, известняка, абразивов и различных руд, а также влажной, липкой и содержащей волокнистые включения пыли [6,17].

С целью оценки эффективности пылеулавливания были проведены исследования двух циклонов с диаметром 0,113 мм и 0,05 мм, произведенных в ООО «НПК «ОйлГазМаш». Особенностью применяемых циклонов является двойной подвод газового потока из цилиндрической камеры.

Принципиальная схема экспериментального стенда представлена на рис.

1. Исследования проводились при температуре 20 °С и нормальном барометрическом давлении.

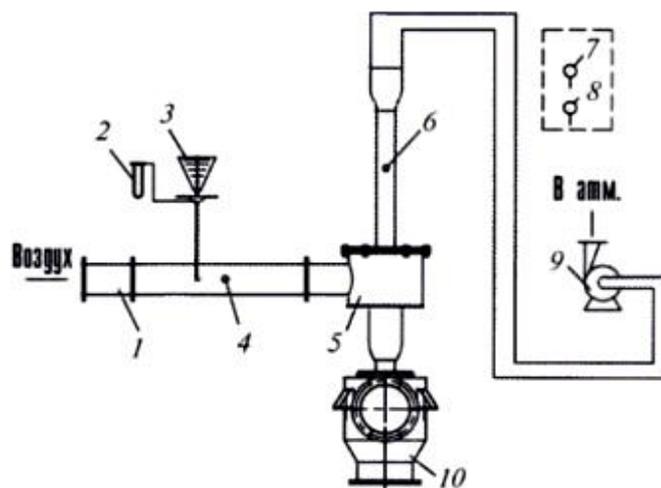


Рис.1. Схема экспериментального стенда [7]

1 – коллектор, обеспечивающий равномерное распределение воздуха по сечению газотока; 2 – реометр; 3 – тарельчатый пылепитатель; 4 – точка замера запыленности на входе; 5 – элемент мультициклона; 6 – точка замера запыленности на выходе; 7 – барометр; 8 – термометр; 9 – вентилятор; 10 – бункер циклона.

В процессе исследований определили параметры пылегазового потока на входе и выходе из циклона (рис. 1, точки 4 и 6): объемный расход воздуха, температуру, абсолютное давление, концентрацию и дисперсный состав пыли. Замеры проводили по стандартным методикам [3]. Дисперсный состав пыли определяли с помощью струйных каскадных импакторов [14]: на входе импактор конструкции НИИОГАЗ, на выходе - НИФХИ им. Карпова.

Методика проведения опытов включала предварительный сушку навески пыли в муфельной печи при $t=180-200$ °С с последующей подачей ее в обогреваемый бункер пылепитателя 3 (рис. 1).

Всероссийское СММ

«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации ЭЛ №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: akademnova.ru

e-mail: akademnova@mail.ru

С дозировочного стола пылепитателя пыль попадала во всплыватель (эжектор), откуда увлекалась потоком воздуха, расход которого поддерживался на уровне 75 л/мин с помощью реометра 2.

В качестве пыли использовался порошок «Пирант», песок кварцевый молотый схожий по характеристикам угольной пыли, плотностью $\rho_{\text{ч}} = 1870$ кг/м³. Уловленная пыль собиралась в герметичном бункере 10 и выгружалась периодически при неработающем стенде.

Исследования дисперсного состава пыли проводились при рабочей скорости воздуха $\omega_{\text{раб}} = 10$ м/с. На основе полученных данных по интегральному распределению дисперсного состава пыли (по массе) на входе и выходе циклона (рис. 2) были определены медианный размер частиц на входе d_m' (мкм) и выходе из аппарата d_m'' (мкм), величины логарифма среднеквадратичного отклонения в функции массового распределения частиц по размерам на входе $\log \sigma_{\text{ч}}'$ и выходе $\log \sigma_{\text{ч}}''$ из циклона.

В ходе экспериментов с циклоном ($D=0,113$ мм) установлено: $d_m' = 9$ мкм и $\log \sigma_{\text{ч}}' = 0,46$; $d_m'' = 2,4$ мкм и $\log \sigma_{\text{ч}}'' = 0,46$.

Значения запыленности воздуха при измерениях составило на входе $C' = 1,30-1,71$ мг/м³ и выходе $C'' = 0,20-0,07$ мг/м³ из циклона. Экспериментальная эффективность улавливания пыли в циклоне $\eta = 0,905$.

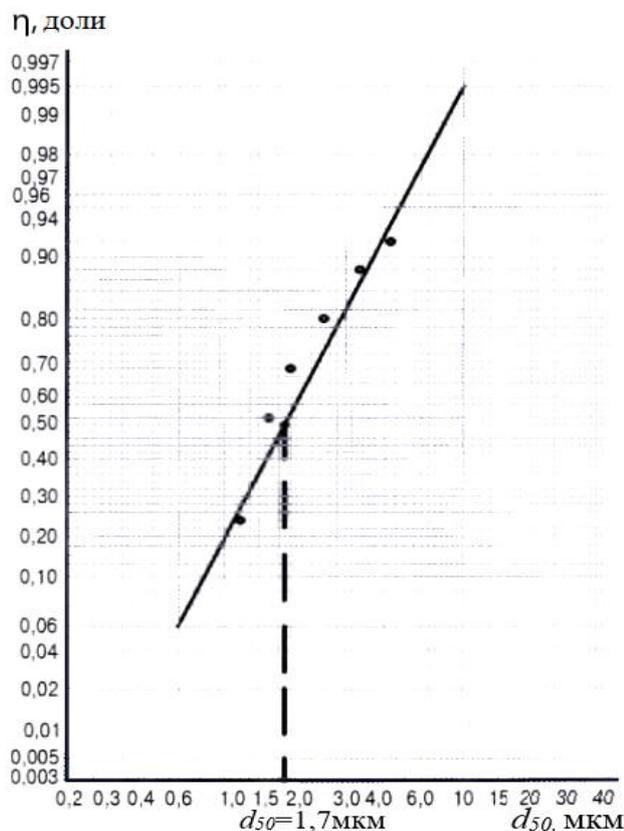


Рис.2. Фракционная эффективность циклона [7].

Полученные экспериментальные данные позволяют определить фактический диаметр частиц, улавливаемых в циклоне с эффективностью 0,5 – $d_{50(\text{эксп})} = 1,7$ мкм и величину логарифма среднеквадратичного отклонения в функции распределения значений фракционного коэффициента пылеулавливания $\log\sigma_{\eta} = 0,30$ [11,18,19].

Также была рассчитана теоретическая величина d_{50} для исследования циклона диаметром $D = 0,113$ мм по формуле:

$$d_{50(\text{теор})} = 14,5 \cdot 10^5 \cdot \zeta_{\eta}^{-0,51} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot \mu}{\omega_{\text{отм}} \cdot \rho_{\text{ч}}}} = 2,6; \quad (1)$$

где μ – динамическая вязкость газов, Па·с, $\mu = 18 \cdot 10^6$ Па·с;

Всероссийское СМИ

«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: akademnova.ru

e-mail: akademnova@mail.ru

Формула действительна для коэффициента гидравлического сопротивления $\zeta = \text{const}$ и находящегося в интервале от 8,5 до 4420.

Расчетное значение $d_{50(\text{теор.})}$ практически совпадает с величиной $d_{50(\text{эксп.})}$, полученной при обработке результатов испытаний (1,7 мкм).

Учитывая, что полученные значения массового распределения взвешенных частиц по размерам на входе в аппарат и фракционной эффективности подчиняются логарифмически-нормальному закону распределения, теоретический расчет эффективности циклона может быть проведен на основе соотношения, где сначала определяется параметр распределения x [3]:

$$x = \frac{\log\left(\frac{d_m}{d_{50}}\right)}{\log^2 \sigma_\eta + \log^2 \sigma_\epsilon} = 1,32 \quad (2)$$

Определяем по справочной таблице распределения Гаусса значение функции нормального распределения $\varphi(x)$, представляющее собой полный коэффициент очистки газа η в центробежном циклоне, выраженные в долях от единицы:

$$\eta = 0,5 \cdot (1 + \varphi(x)) = 0,907 \quad (3)$$

Полученное значение сходится с экспериментальной эффективностью.

Вторая серия экспериментов, при диаметре циклона 0,05 мм, проводилась при тех же условиях. Были получены значения на входе и выходе: $d_m' = 9$ мкм и $\log \sigma_\epsilon' = 2,4$ мкм; $d_m'' = 2,4$ мкм и $\log \sigma_\epsilon'' = 0,36$.

Значения запыленности воздуха при измерениях составило на входе $C' = 1,20 - 1,61$ г/м³ и выходе $C'' = 0,09 - 0,03$ г/м³ из аппарата циклона. Экспериментальная эффективность улавливания пыли в циклоне $\eta = 0,958$.

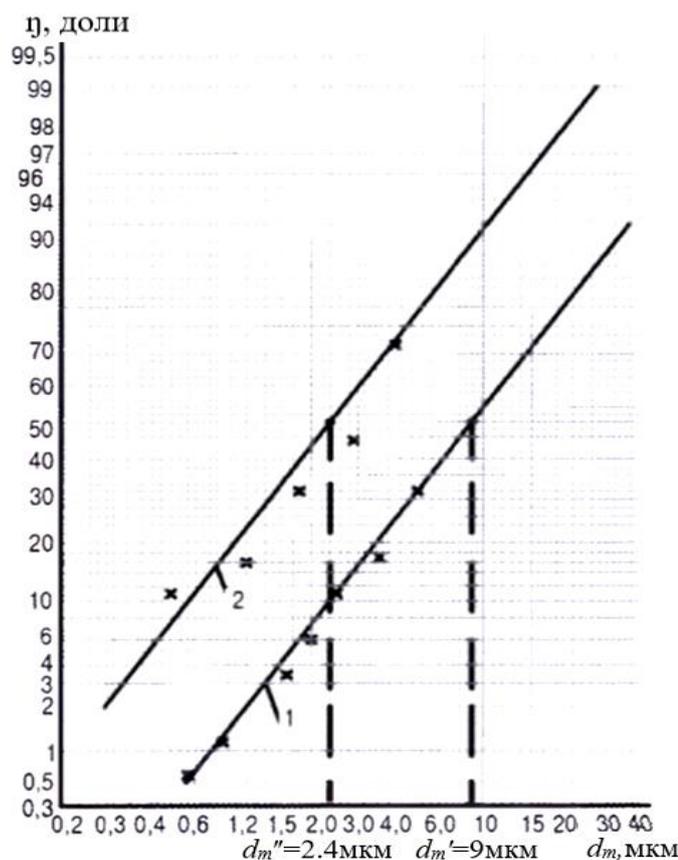


Рис. 3 Дисперсный состав пыли [7]

1 – на входе, 2 – на выходе

На основе этих данных были получены следующие величины $d_{50(\text{эксп})} = 0,3 \text{ мкм}$ и $\log \sigma = 0,56$.

Был произведен аналогичный расчет величины d_{50} при диаметре циклона $0,05 \text{ мм}$, по ранее изложенному принципу в первой серии экспериментов циклона диаметром $0,113 \text{ мм}$, на основании которого были получены следующие теоретические данные: $d_{50(\text{теор})} = 1,6 \text{ мкм}$ и $\eta_{\text{теор}} = 0,949$.

Анализ и сравнение полученных экспериментальных и теоретических данных показал, что фактическое использование циклона меньшего диаметра

позволяет улавливать пылевые частицы еще меньшего диаметра по сравнению с теоретическими значениями:

- при диаметре циклона $D=113$ мм: $d_{50(\text{теор})} = 2,3$ мкм, $d_{50(\text{эксп})} = 1,7$ мкм;
- при диаметре циклона $D=50$ мм: $d_{50(\text{теор})} = 1,6$ мкм, $d_{50(\text{эксп})} = 0,3$ мкм.

Выводы:

1. Предлагаемый альтернативный вариант замены старой системы пылеочистки на новую систему, предполагающую использование циклонов пленочного орошения, позволит повысить эффективность пылеулавливания до 98% при еще большей дисперсности пылевого аэрозоля (диаметре частиц более 3 мкм).

2. Повышение эффективности пылеочистки при диаметре частиц 0,3 мкм до 95,8% связано с уменьшением диаметра циклонов.

3. Выполненная предварительная экономическая оценка показала, что использование предлагаемого технического решения в системах пылеочистки воздуха дает возможность по сравнению с традиционной технологией снизить эксплуатационные затраты на 52 %, а срок окупаемости – до полугода [13, 12].

3. Полученные результаты применимы для борьбы не только с угольной пылью, но и с цементирующейся пылью средней и мелкой дисперсности, в том числе образующей при обработке и транспортировке песка, глины, известняка, абразивов и различных руд.

Список использованной литературы:

1. Байтренас П.Б. Обеспыливание воздуха на предприятиях стройматериалов: М. Сройиздат, 1990. – 184 с.
2. Венцель В.Д. Основы промышленной экологии и природопользования. Учебное пособие / В.Д. Венцель, В.С. Сердюк, С.В. Янчий / Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 136 с.
3. Ветошкин А.Г. Инженерная защита атмосферы от вредных выбросов: Учебно-практическое пособие / Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – 316 с.

Всероссийское СМИ

«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: akademnova.ru

e-mail: akademnova@mail.ru

4. Сушко Е.Г. Определение эффективности систем пылеулавливания. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 156 с.
5. Кривошеин Д.А. Основы экологической безопасности производств / Д.А. Кривошеин, В.П. Дмитренко, Н.В. Федотова / Издательство: Лань, 2015 – 336 с.
6. Мотузова Г.В. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия/ Г.В. Мотузова, Е.А. Карпова / М.: Издательство Московского университета, 2013. – 302 с.
7. Николайкина Н.Е., Завьялова М.С., Хуторов Ю.Ф. Исследования элемента мультициклона для очистки газов. // Известия МГТУ(МАМИ) №3(17). 2013, Т.3. – С. 125-129.
8. Пикалов Е.С. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Механические и физические методы очистки промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу / Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. – 79 с.
9. Редина М.М. Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды / М.М. Редина, А.П. Хаустов / Издательство: Юрайт, 2016. – 431с.
10. Чекалова Л.В. Экотехника. Аппаратура процессов очистки промышленных газов и жидкостей: учебное пособие. / Л.В. Чекалова, А.В. Сугака, Д.Е. Смирнов / под общ. ред. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2013. – 180 с.
11. Genschel U. Comparison of Maximum Likelihood and Median Rank Regression for Weibull Estimation / U. Genschel, W. Meeker / Department of Statistics Iowa State University Ames. IA 50011 – 2010 – 211- 218 pp.
12. Dennis P. Nolan. Loss Prevention and Safety Control: Terms and Definitions.: CRC Press, Published June 14, 2017 year – 324 pp.
13. Clift R. Gas Cleaning at High Temperatures/ R. Clift, J.P. Seville/ Springer Science & Business Media, 2012 year – 686 pp.
14. Usmanova R.R., Clearing of Industrial Gas Emissions: Theory, Calculation, and Practice/ R.R. Usmanova, G.E. Zaikov /CRC Press, 2014 year –384 pp.
15. André B. de Haan. Process Technology: An Introduction.: Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2015 year – 540 pp.
16. Seville J.P. Gas Cleaning in Demanding Applications.: Springer Science & Business Media, 2013 year –310 pp.
17. Svarovsky L. Solid-Gas Separation.: Elsevier, 2013. – 136pp.
18. Effect of geometric configuration on the collection efficiency of axial flow cyclones/Ta-Chih Hsiao, Daren Chen, Paul S. Greenberg, Kenneth W. Street// Journal of Aerosol Science. 2011/ Vol. 42. №2. – 78-86 pp.
19. Design and performance evaluation of a new cyclone separator/Irfan Karagoz, Atakan Avci, Ali Surmen, Omer Sendogan // Journal of Aerosol Science. 2013. Vol. 59. – 57-64 pp.

Опубликовано: 10.05.2019 г.

© Академия педагогических идей «Новация», 2019

© Альмухаметова С.Г., 2019