

Определение морфологического состава пылевых частиц

Р.А. Лясин, В.А. Багров, М.Д. Азарова

Волгоградский Государственный Технический Университет

Аннотация: В статье исследуются пылевые частицы, выделяющиеся в атмосферный воздух от цементных заводов. Анализ проб пыли производился методом электронной микроскопии с последующей обработкой полученных изображений в программном обеспечении *Spotexplorer*. Полученные результаты позволили определить дисперсный и морфологический состав пылевых выбросов.

Ключевые слова: коэффициент сферичности, цементный завод, твёрдая частица, микроскопия, атмосферный воздух, выброс, морфология.

Предприятия строительной индустрии, а в частности, цементные заводы являются основным источником пылевого загрязнения воздушной среды крупных городов. Образующиеся пылевые частицы представляют собой обломки неправильной формы, которые способны перемещаться на значительные расстояния, в том числе на территории жилых зон. При воздействии на организм человека пылевые частицы, особенно мелкодисперсные, могут вызывать развитие патологий дыхательных путей.

Так, в работах авторов [1,2] выделяется важность исследования свойств пылевых выбросов цементных заводов, рассматривается дисперсность, но не затрагивается морфологический состав пылевых частиц, который необходим для определения зоны их распространения.

Изучение дисперсного (гранулометрического, зернового) состава в настоящее время осуществляется методами (лазерной дифракции, электронной микроскопии, седиментометрии, ситовой и т.п.) [3,4]. Так, для дисперсных систем, имеющих медианный диаметр в пределах 50 - 100 мкм, возможно использование всех вышеперечисленных методов, погрешность в этом случае минимальна. При анализе дисперсных систем, медианный диаметр которых менее 50 мкм, увеличивается погрешность измерений, особенно при использовании методов ситового и седиментометрического

анализа. Наибольшей точностью в этом случае обладают методы лазерной дифракции и электронной микроскопии [5-7].

Цель работы – исследование морфологического состава пылевых выбросов цементных заводов. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить морфологический состав и характеристики выбросов цементной пыли.
2. Построить функции распределения пылевых частиц в интегральной и дифференциальной форме.

Анализ пробы пыли осуществлялся методом электронной микроскопии. Путём проведения анализа дисперсного состава получена серия растровых двумерных изображений. Для перевода микрофотографий в формат бинарных использовался редактор *Adobe* [8]. Результаты представлены на рис.1-2.

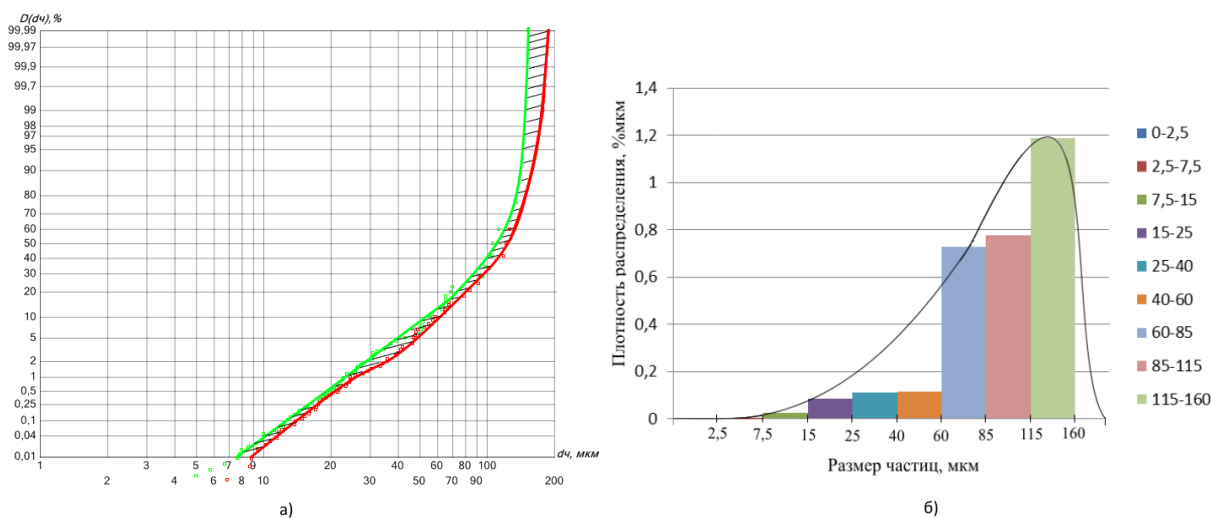


Рис.1 – Результаты дисперсного анализа:

а – интегральная функция; б – дифференциальная гистограмма и функция

Построение интегральной функции осуществляется путём расчёта общей массы пылевых частиц и определения их массовой доли для фракционной группы. Для изображения результатов в виде

дифференциальной гистограммы вся полидисперсная система делится на фракционные группы, определяется массовое содержание твёрдых частиц, которое является высотой полученных столбцов [9].

Определение формы пылевых частиц по двумерным изображениям не отличается большой сложностью. Так, в работе [10] для определения коэффициента сферичности твёрдой частицы использовалась формула (1).

$$\varphi = 4\pi(S / P^2) \quad (1)$$

где φ – коэффициент сферичности; S – площадь проекции частицы, мкм; P – периметр проекции частицы, мкм.

Посредством использования формулы (3) и обработки двумерных изображений удалось получить морфологический состав в размерных группах для пыли цемента на рис.2.

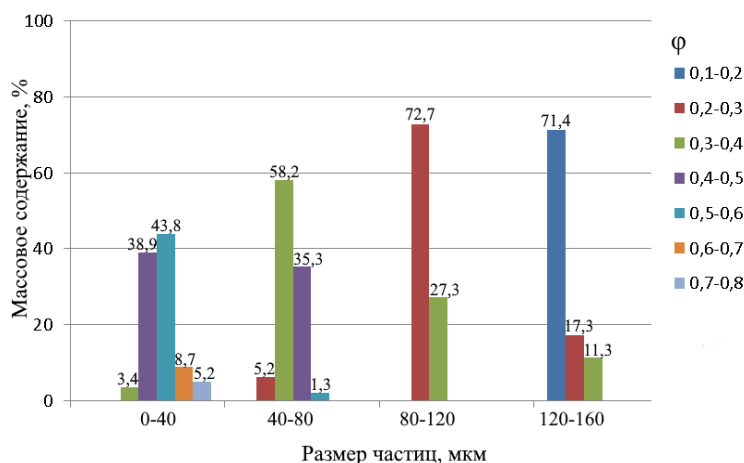


Рис.2 – Пофракционный морфологический состав цементной пыли

Рассматривая полученные результаты анализа морфологического состава пыли цемента, можно утверждать, что выделяющиеся твёрдые частицы (49,8 % от общего количества) имеют форму осколков с коэффициентом сферичности 0,3-0,5. При анализе полученных данных удалось установить, что при увеличении дисперсности твёрдых частиц их форма изменялась с остроугольной (2) ($\varphi = 0,7-0,8$) на игольчатую (1) ($\varphi=0,1-0,2$) рис.3.



Рис.3 – Бинарное изображение частиц пыли цемента различной формы:

1 – игольчатая; 2 - остроугольная

Кроме того, посредством обработки экспериментальных данных удалось получить численные значения морфометрических характеристик пылевых частиц, среди которых: медиана, среднее значение и т.п. Полученные результаты представлены в таблице №1. Для определения коэффициента вариации и стандартное квадратичное отклонения использовались формулы (2-3) [11].

$$K_n = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2)$$

где K_n – коэффициент вариации, %; σ – среднее квадратичное отклонение; μ – среднее значение.

$$\sigma = \sqrt{f_{ni}(x_i - x_n)^2} \quad (3)$$

где σ – среднее квадратичное отклонение; x_i – значение изучаемой варианты; x_n – средняя арифметическая величина; f_{ni} – численная доля i -ой фракции.

Таблица №1

Морфометрические характеристики цементной пыли

Показатели	Размер частиц, мкм	Коэффициент сферичности
1	2	3
Минимальное значение	7,883	0,14
Максимальное значение	159,536	0,78
Медиана	128,635	0,235
Среднее значение	30,224	0,48
Коэффициент вариации	10,36	2,86
Стандартное квадратичное отклонение	3,13	0,0137

На основании полученных данных морфометрических характеристик и морфологического состава можно прийти к следующим выводам:

1. При анализе морфологического состава цементной пыли было установлено, что наибольшая численная доля присуща частицам, имеющим коэффициент сферичности 0,3-0,5.

2. По построенной дифференциальной гистограмме было определено, что наибольшая плотность распределения твёрдых частиц наблюдается в фракционном промежутке 115-160 мкм.

3. Полученные результаты анализа морфометрического состава позволили определить размерность пылевых частиц, которые могут находиться в жилой зоне и оценить их воздействие на организм человека.

4. Рассматривая изменение значений коэффициента сферичности от размера частиц можно увидеть закономерное изменение формы пылевых частиц с остроугольной до игольчатой.

Литература

1. Pafadnam M. F., Azarov V. N. Emissions from cement production on the environment and health // Молодой ученый. – 2021. – № 4 (346). – pp. 32-35. URL: elibrary.ru/item.asp?id=44648083.

2. Сажина О. В. Анализ свойств цементной пыли как объекта, участвующего в процессе загрязнения воздушной среды // Новая наука: От идеи к результату. – 2016. – № 8-1(96). – С. 40-41. URL: elibrary.ru/item.asp?id=26493762.

3. Лясин Р.А., Лупиногин В.В., Евтушенко А.И., Лукьяница С.В. Об определении дисперсного состава цементной пыли седиментационным методом при пофракционном оседании частиц с использованием средств обработки бинарных фотографий // Инженерный вестник Дона, 2022, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2022/7666.

4. Коузов П. А., Скрыбина Л. Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей / Ленинград: Химия, 1983. 143 с.

5. Zhang Zelin, Yang Jianguo, Ding Lihua, Zhao Yuemin. An improved estimation of coal particle mass using image analysis // Journal of Powder Technology, vol.229.pp 178-184, 2012. URL: libgen.ggfwws.net/book/17218950/a0cb70.

6. Игнатова А. М., Землянова М. А., Степанко М. С., Игнатов М. Н. Определение морфометрических характеристик микродисперсной системы оксида алюминия методом анализа изображений // Программные системы и вычислительные методы. – 2017. – № 3. – С. 70-85. URL: elibrary.ru/item.asp?id=30047548.

7. Медников Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. М.: Наука, 1981. 176 с.

8. Жадаев, А. Г. Практическое руководство по работе в Adobe Photoshop CS3. Обработка фотографий в Adobe Photoshop CS3 / А. Г. Жадаев. – Москва: NT Press, 2008. – 311 с. URL: elibrary.ru/item.asp?id=19621586.

9. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А. Коузов. – Ленинград: Химия, 1987. – 264 с.

10. Schneider, C. A. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis /C. A. Schneider, W. S. Rasband, K. W. Eliceiri // Nature methods. 2012. Т. 9, № 7. P. 671. URL: doi.org/10.1038/nmeth.2089.

11. Данко П.Е., Попов А.Г., Кожевникова Т.Я. Высшая математика в упражнениях и задачах: учеб. пособие для студентов вузов. В 2 ч. Ч. II. – 4-е изд. М.: Высш. шк., 1986. - 415 с.

References

1. Pafadnam M. F., Azarov V. N. Molodoy uchenyy. 2021. № 4 (346). P. 32-35. URL: elibrary.ru/item.asp?id=44648083.

2. Sazhina O. V. Novaya nauka: Ot idei k rezul'tatu. 2016. № 8-1(96). pp. 40-41. URL: elibrary.ru/item.asp?id=26493762.

3. Lyasin R.A., Lupinogin V.V., Yevtushenko A.I., Lukyanitsa S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2022/7666.

4. Kouzov, P. A., Skryabina L. A. Metody opredeleniya fiziko-himicheskikh svoystv promyshlennykh pylej. [Methods for determining the physicochemical properties of industrial dusts]. Leningrad: Himiya, 1983. 143 p.

5. Zhang Zelin, Yang Jianguo, Ding Lihua, Zhao Yuemin. Journal of Powder Technology, vol.229. pp 178-184, 2012. URL: libgen.ggfwws.net/book/17218950/a0cb70.

6. Ignatova A. M., Zemlyanova M. A., Stepanko M. S., Ignatov M. N. Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. 2017. № 3. pp. 70-85. URL: elibrary.ru/item.asp?id=30047548.

7. Mednikov E. P. Turbulentnyy perenos i osazhdenie aerorozley. [Turbulent transport and deposition of aerosols]. M. : Nauka, 1981. 176 p.

8. Zhadaev, A. G. Prakticheskoe rukovodstvo po rabote v Adobe Photoshop CS3. Obrabotka fotografij v Adobe Photoshop CS3. [A practical guide to working in Adobe Photoshop CS3. Processing photos in Adobe Photoshop CS3]. Moskva: NT Press, 2008. 311 p.

9. Kouzov, P.A. Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennykh pylej i izmel'chennykh materialov. [Fundamentals of analysis of the dispersed composition of industrial dust and crushed materials]. Leningrad: Himiya, 1987. 264 p.

10. Schneider C. A., Rasband W. S., Eliceiri K. W. Nature methods. 2012. T. 9, № 7. P. 671. URL: doi.org/10.1038/nmeth.2089.

11. Danko P.E., Popov A.G., Kozhevnikova T.Ya. Vysshaya matematika v uprazhneniyakh i zadachakh. [Higher Mathematics in exercises and tasks]. M.: Vyssh. shk, 1986. 415 p.
