

К определению фактических размеров частиц пыли выбросов стройиндустрии и строительства

В.Н. Азаров¹, С.А. Кошкарев¹, М. А.Николенко²

¹ *Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
Волгоград*

² *Ростовский государственный строительный университет*

Аннотация: В статье описан перспективный подход к определению фактических размеров частиц пыли выбросов стройиндустрии и строительства. На основе результатов дисперсионного анализа керамзитовой пыли, и других строительных материалов предложен обобщенный подход к определению фактического эффективного, или гидравлического размера частиц пыли. На основе результатов дисперсионного анализа керамзитовой пыли, и других строительных материалов предложен обобщенный подход к определению фактического эффективного, или гидравлического размера частиц пыли. Описан практический способ оценки величины гидравлически эффективного размера частиц пыли по площади их поперечного сечения, определяемого при дисперсионном анализе. Такой подход целесообразно применять при разработке новых конструкций высокоэффективных пылеуловителей, обеспечивающих снижение выбросов пыли стройиндустрии в атмосферу с использованием результатов дисперсионного анализа улавливаемой пыли.

Ключевые слова: Пыль, пылеуловитель, степень, сепарация, дисперсионный анализ, керамзит, строительный материал, гидравлический размер, эквивалентный диаметр, система, аспирация, обеспыливание, выбросы, атмосфера.

В настоящее время повышаются требования к экологической безопасности, в том числе, к сокращению опасного антропогенного на влияния атмосферный воздух. Производственная деятельность человека при все более возрастающем объеме производства сопровождается выбросом опасных загрязняющих веществ предприятиями промышленности и стройиндустрии в атмосферу и создает дополнительное неблагоприятное воздействие на экосистему в целом. При этом все более возрастают требования по обеспечению качества воздуха в жилой застройке урбанизированных территорий. Сокращение объема выбросов обеспыливающих систем аспирации является актуальной задачей, решение которой в первую очередь связано со снижением величины показателя проскока пыли через пылеулавливающие устройства обеспыливания.

Определение размеров частиц пыли, функциональной зависимости распределения диаметров (размеров) частиц находит все большее применение в различных теоретических исследованиях и практических разработках высокоэффективных пылеуловителей систем обеспыливания. Решению данной актуальной задаче посвящено значительное количество трудов, например, [1-4]. Описание методик проведения дисперсионного анализа пыли также широко представлены, например, в литературе [2, 4].

Определение геометрических параметров и характеристик частиц пыли различных веществ является важной и сложной проблемой. Данную проблему необходимо учитывать в решении вопросов повышения эффективности систем обеспыливания выбросов систем аспирации и технологической вентиляции стройиндустрии, других отраслей промышленного производства.

Одним из основных геометрических параметров является эффективный диаметр, эквивалентный размер d_{pe} , или гидравлический размер частиц пыли, как одной из основных характеристик влияющий на определение эффективности улавливания частиц пыли из потоков очищаемого газа систем обеспыливания систем аспирации. Необходимость точного определения геометрических параметров: эквивалентных размеров, гидравлической крупности [5], – является важной технической задачей, решение которой в большинстве случаев позволяет получить искомый результат.

Другим перспективным направлением является совершенствование и разработка новых конструкций центробежно-инерционных пылеуловителей. В статье [6] представлены системы пылеулавливания на основе аппаратов ВЗП с использованием результатов проведенного дисперсионного анализа пыли с высокими значениями ее содержания в подаваемом на очистку пылегазовом потоке, которые рекомендовано использовать на предприятиях стройиндустрии, и в том числе в системах обеспыливания для производства

керамзита. Например, работы [7 - 8] были посвящены исследованию пылеулавливания и разработке новых пылеуловителей основе использования результатов проведенного дисперсионного анализа пыли. В работах [7 - 8] приведены основные результаты исследований дисперсного состава пыли керамзита, интегрального распределения размеров частиц пыли по эффективным диаметрам $D(d_p)$. При этом было обосновано использование пылеуловителей, сочетающих инерционный принцип улавливания и метод мокрой очистки пылегазовых потоков пыли в системах обеспыливания выбросов производства керамзита.

При этом мелкие частицы пыли твердых веществ, особенно фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} , имеют значительное влияние на рассеивание, стратификации в атмосфере выбросов предприятий стройиндустрии. В работах [9, 10] отмечена важность учета фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} . В статье [9] указано на актуальность и пути сокращения выбросов в том числе дисперсных частиц мелких фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} численного моделирования пылеулавливания и рассеивания их в атмосфере. В статье [10] представлены результаты основных показателей мелкодисперсных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в выбросах пыли асбестоцемента и учета данных фракций пыли при моделировании рассеивания в атмосфере.

Следует также отметить интерес к анализу содержания фракций мелкодисперсных частиц пыли, например, PM_{10} в выбросах в атмосферу промышленных предприятий, и автотранспорта. В работе [11] отмечено, что инвентаризация выбросов объектов промышленности и строительства может служить основой для разработки программ управления качеством воздуха. При этом использовался критерий как ПДК для твердых частицы ($C_{пдк\ тч}$), так и $C_{пдк\ PM_{10}}$. Эта статья представляет обобщение проведенной инвентаризации выбросов пыли PM_{10} в столице Индии Дели.

Анализ ограниченного объемом статьи даже незначительного количества литературных источников показывает на необходимость учета содержания фракций мелкодисперсных частиц пыли, например, $PM_{2,5}$, PM_{10} , адсорбирующих на своей поверхности, в том числе токсичные вещества, содержащихся в выбросах систем аспирации и вентиляции стройиндустрии. Расчеты на рассеивание в атмосфере фракций мелкодисперсных частиц пыли, $PM_{2,5}$, PM_{10} в настоящее время не производятся, так как существующие модели расчета (например, ОНД-86) не позволяют получать адекватные результаты. Кроме того существуют известные проблемы мониторинга фракций частиц пыли $PM_{2,5}$ и PM_{10} , например, в жилой застройке. Получаемые в результате измерений значения концентраций фракций частиц пыли $PM_{2,5}$ и PM_{10} при мониторинге не могут быть воспроизведены с высокой степенью достоверности, так как представляют собой вероятностные величины различных по физико-химическим свойствам видов пыли предприятий, расположенных в том или ином районе города, города, или региона. При этом наиболее целесообразным видится нормирование содержания фракций частиц пыли $PM_{2,5}$ и PM_{10} в выбросах систем аспирации и технологической вентиляции стройиндустрии в атмосферный воздух [12].

При этом известным подходом к определению эффективных диаметров, или эквивалентных размеров с использованием результатов проведенного комплексного дисперсионного анализа пыли.

В нашем исследовании использовалась методика, подробно изложенная в работе [6]. Известным подходом к определению эффективных диаметров, или эквивалентных размеров частиц пыли d_{pe} является экспериментальное изучение дисперсного состава пыли, зернистого материала с использованием лабораторной установки [13].

Диаметр частицы произвольной, отличающейся от шара формы, принято характеризовать величиной частиц пыли с некоторым



эквивалентным диаметром частиц пыли d_{pe} . Соответствующая величине d_{pe} скорость витания частиц пыли в газе u_p является важными при разработке и выборе пылеулавливающих устройств для систем аспирации на предприятиях стройиндустрии, производства строительных материалов других отраслях промышленности и т.п. Кроме того, при проведении различных технологических процессов в фильтрующем, взвешенном слое частиц зернистого материала (сушка, экстракция, аэроклассификация (сепарация) и пылеулавливание) является важным выбор “рабочих” скорость движения агента (газовой фазы), числа псевдооживления w_p , также зависящих от скорости витания частиц пыли u_p . Скорость витания стоксовых частиц пыли в газе u_p является, в том числе функцией диаметра частиц пыли в форме шара d_p

$$u_p = \frac{1\pi d_p^2 \rho_p}{18 \nu} g \quad (1)$$

где g – ускорение силы тяжести м/с^2 ;

d_p – диаметр частицы, м.

ν – кинематическая вязкость газа, $\text{м}^2/\text{с}$;

ρ_p – плотность частицы, кг/м^3 .

В работе [1] было введено понятие величины τ , имеющей размерность времени, и указано, что она является одной из самых важных при описании процесса оседания частиц

$$\tau = \frac{1\pi d_p^2 \rho_p}{18 \nu} \quad (2)$$

где d_p – диаметр частицы, м.

Эффективная величина горизонтальной проекции площади поперечного сечения частицы $S_{\text{эф}}$ и соответствующий ей размер диаметра

частицы пыли d_{pe} являются вероятностными величинами, так как частицы произвольной, отличающей от шара формы, располагаются на поверхности пластины (ленты) в стохастическом, произвольном положении при исследовании под микроскопом. Получаемые при экспериментальном исследовании результаты эффективных диаметров d_p , или эквивалентных диаметров частицы пыли d_{pe} на установке [13] по методике литературы [6] в полной мере не исключает влияния такого случайного, произвольного положения частицы пыли на ленте (пластине). Это объясняется распределением частицы пыли на исследуемой поверхности собственно в зависимости скорости осаждения u_s в газе, или скорости витания u_p . Скорости осаждения u_s и витания u_p принципе не являются тождественными параметрами, однако, как правило, отличаются по величинам незначительно [3, 4].

В соответствии с рекомендациями литературы, например [1, 2, 5], предлагается определять эквивалентные величины диаметров частицы пыли d_{pe} .

Теоретическая оценка величины горизонтальной проекции площади поперечного сечения частицы значительно затруднена и связана с целым рядом параметров. Одним таких факторов, влияющих на эффективное, или действующее значение горизонтальной проекции площади поперечного сечения частицы $S_{эф}$ является пульсационная, периодическая составляющая движения- вращения частицы. Так, например, в работе [14] указано, что скорости частицы (или газа, обеспечивающего витание частиц в газе) определяются, в том числе, частотой лагранжевых пульсаций ω , которые будут влиять собственно на частоту вращения самих частиц пропорциональную параметру $(\sin(\omega\tau))$, углу сдвига фазы $\varphi = (\arctg(\omega\tau))$ ($\omega\tau$) и коэффициента увлечения частиц пульсирующим потоком

среды μ_p . Величину τ можно определять по формуле (2). Коэффициент μ_p может определяться по формуле [14]

$$\mu_p = \cos(\varphi) = 1/\sqrt{(1 + \omega^2\tau^2)} \quad (3)$$

С учетом $\omega = 2\pi f$ и значением τ из формулы (2)

Для частицы с индексом инерционности ($\omega\tau < 1$), $t \gg T$, в стационарном установившемся режиме движения уравнения для угла сдвига фазы и среды φ , и параметра увлечения частиц пульсирующим потоком среды μ_p примут вид

$$\varphi = \text{arctg}\left(\frac{\pi d_p^2 \rho_p f}{9 \nu}\right) \quad (4)$$

$$\mu_p = \cos(\varphi) = 1/\sqrt{\left(1 + \left(\frac{\pi d_p^2 \rho_p f}{9 \nu}\right)^2\right)} \quad (5)$$

При этом осредненная степень увлечения $\overline{\mu}_p$, а также скорость u_p и путь l_t частицы в практических расчетах на основе рекомендаций [14] определяются по формулам

$$\overline{\mu}_p = 1/(1 + \omega\tau) \quad (6)$$

$$u_p = \bar{u}(1 - e^{-t/\tau}) \quad (7)$$

$$l_t = u_{p0} \tau \quad (8)$$

где u_{p0} некоторая начальная скорость частицы, которая в случае полного увлечения частицы становится равной скорости газа v_0 .

На основании свойств произвольного, пульсационного вращательно-циклического характера движения витающей в газе частицы [14]

$$u_p = u'(\sin(\omega\tau)), \quad (9)$$

где в данном случае u_p скорости витания частицы в газе, а u' пульсационная составляющая.

Фактическое, или гидравлически действующее значение величины $S_{эф}$ при витании и вращении ее в газе может быть оценено в первом приближении на основе использования свойств функции гармонических колебаний ($\sin(\omega\tau)$), или частоты вращения частицы ω , имеющих значительные величины

$$(S_{max})\sqrt{2}/2 \leq S_{эф} \leq S_{max} \quad (10)$$

где в данном случае S_{max} – максимальное значение площади поперечного сечения частицы в горизонтальной проекции, определяемое при дисперсионном анализе.

С учетом $\omega = 2\pi f$, $\overline{\mu}_p = 1/(1 + \omega\tau)$ и значений τ , u_p , l_t , из системы уравнений (1-10) возможно определение величин эквивалентных диаметров частицы пыли d_{pe} , эффективной площади горизонтальной проекции поперечного сечения частицы $S_{эф}$.

Выводы.

1. Величину эквивалентного диаметра частицы, или гидравлического размера пыли d_{pe} определять при дисперсионном анализе и возможно оценивать аналитически с учетом определенных экспериментально значений τ , u_p . При этом значения $\omega = 2\pi f$, $\overline{\mu}_p = 1/(1 + \omega\tau)$ и l_t , определяются из решения системы уравнений (1-10).

2. Величина фактической площади горизонтальной проекции поперечного сечения частицы $S_{эф}$ всегда меньше некоторого значения площади поперечного сечения частицы максимальной величины S_{max} ,



определяемой при дисперсионном анализе. Такое свойство частиц пыли требует учета при разработке новых конструкций пылеуловителей.

Литература

1. Фукс, Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 352 с.
2. Коузов, П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельчённых материалов. Л.: Химия, 1987. 264 с.
3. Азаров, В. Н. Комплексная оценка пылевой обстановки и разработка мер по снижению запыленности воздушной среды промышленных предприятий: автореф. дис. ... д-р техн. наук наук: 05.26.01. Ростов-на-Дону, 2004, 48 с.
4. Азаров, В.Н., Сергина, Н.М. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) / В.Н. Азаров, Н.М. Сергина: Волгогр. гос. арх.-строит. акад. Волгоград, 2002. Деп. в ВИНТИ 15.07.2002 №1332-80002. 7 с.
5. Strelets K. I., Kitain M. B., Petrochenko M. V. Welding Spark Parameters Determination for Cyclone Removal Calculation //Advanced Materials Research. 2014. V. 941. Pp. 2098-2103.
6. Сергина, Н. М., Семенова, Е. А., Кисленко, Т. А. Система обеспыливания для производства керамзита // Инженерный вестник Дона, 2013. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2013.
7. Кошкарёв, С.А., Кисленко, Т.А. О применении аппарата пылеулавливания с комбинированной схемой сепарации пыли из пылегазового потока в производстве керамзита // Альтернативная энергетика и экология, 2013, №11. С. 47-49.
8. Азаров, В.Н., Кошкарёв, С.А., Соломахина, Л. Я. К экспериментальной оценке эффективности аппарата мокрой очистки в системах обеспыливания выбросов от печей обжига керамзита // Инженерный вестник Дона, 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2572.



9. Бахтин, Н. И., Янюшкин, В.В. Ольшевский, Д. В.. Математическое моделирование пылеулавливания в технологических системах, уменьшающих выбросы дисперсных частиц в атмосферу // Инженерный вестник Дона, 2008. URL:ivdon.ru/ru/ magazine/archive/n2y2008/58.

10. Азаров, В.Н., Кошкарев, С.А., Николенко, М.А., Бурханова, Р.А. Исследование основных показателей выбросов пыли асбестоцемента в атмосферный воздух для оценки их влияния на качество жизни работающих // Инженерный вестник Дона, 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2539.

11. Gargava P. et al. Speciated PM 10 Emission Inventory for Delhi, India //Aerosol and Air Quality Research. 2014. \V. 14. Pp. 1515-1526.

12. Маринин, Н.А. Исследование дисперсного состава пыли в инженерно-экологических системах и выбросах в атмосферу предприятий стройиндустрии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.19. Волгоград, 2014. 20 с.

13. Патент №135806, Россия, U1 МПК G01N 15/00. Устройство для определения дисперсного состава пыли. Азаров, В. Н., Кошкарев, С.А., и др. Заявка №2013121082/28 Приоритет от 07.05.2013. Бюллетень № 35 20.12.2013.

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



References

1. Fuks, N.A. Mehanika ajerozolej [Mechanics of aerosols]. M.: Izd-vo AN SSSR, 1955. 352 p.
2. Kouzov, P. A. Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennyh pylej i izmel'chjonnyh materialov [Fundamentals of dispersed composition' analysis of industrial dust and crushed materials]. L.: Himija [Chemistry], 1987. 264 p.
3. Azarov, V. N. Kompleksnaja ocenka pylevoj obstanovki i razrabotka mer po snizheniju zapylenosti vozduшной sredy promyshlennyh predpriyatij: avtoref. dis. ... d-r teh. nauk nauk: 05.26.01. Rostov-na-Donu, 2004. 48 p.
4. Azarov V.N., Sergina N.M. Deponirovannaja rukopis'. Deponirovano VINITI 15.07.2002 №1332-80002. 7 p.
5. Strelets K. I., Kitain M. B., Petrochenko M. V. Welding Spark Parameters Determination for Cyclone Removal Calculation. Advanced Materials Research. 2014. V. 941. Pp. 2098-2103.
6. Sergina, N. M., Semenova, E. A., Kislenko, T. A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n4y2013/2013](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2013).
7. Koshkarev, S.A., Kislenko, T.A. Al'ternativnaja jenergetika i jekologija, 2013, №11. Pp. 47-49.
8. Azarov, V.N., Koshkarev, S.A., Solomahina, L. Ja. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2572.
- 9 Bahtin, N. I., Janjushkin, V.V. Ol'shevskij, D. V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2008. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/58.
10. Azarov, V.N., Koshkarev, S.A., Nikolenko, M.A., Burhanova, R.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2539.
11. Gargava P. et al. Speciated PM 10 Emission Inventory for Delhi, India. Aerosol and Air Quality Research. 2014. V. 14. Pp. 1515-1526.



12. Marinin, N.A. Issledovanie dispersnogo sostava pyli v inzhenerno-jekologicheskikh sistemah i vybrosah v atmosferu predpriyatij strojindustrii: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk nauk: 05.23.19. Volgograd, 2014. 20 p.

13. Patent U1 №135806 MPK G01N 15/00 Ustrojstvo dlja opredelenija dispersnogo sostava pyli. Azarov, V. N., Koshkarev, S.A. [i dr.]. Zajavka №2013121082/28. Prioritet ot 07.05.2013. Bulletin № 35 20.12.2013.

14. Mednikov, E.P. Turbulentnyj perenos i osazhdenie ajerozolej [Turbulent transfer and precipitation of aerosols]. M.: «Nauka», 1981. 176 p.