



Снижение выбросов систем обеспыливания с использованием дисперсионного анализа пыли в стройиндустрии

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 метод снижения выбросов пыли в атмосферу при разработке пылеуловителей обеспыливающих систем аспирации в производстве строительных материалов. На основе результатов дисперсионного анализа керамзитовой пыли, и других строительных материалов предложен обобщенный подход к определению эффективного размера частиц пыли. Предложен и апробирован на практике подход к определению функциональной зависимости интегрального распределения частиц пыли по эквивалентному размеру (эффективному размеру). Описан практический способ определения критического (минимального) эквивалентного размера частиц пыли, потенциально улавливаемых пылеуловителями. Обоснованы принципы разработки новых конструкций высокоэффективных пылеуловителей и увеличения степени сепарации 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.

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. В настоящее время повышаются требования к экологической безопасности, в том числе, к сокращению негативного техногенного воздействия на атмосферный воздух предприятиями стройиндустрии и промышленности. Снижение выбросов систем обеспыливания является актуальной задачей, решение которой связано увеличением степени сепарации пылеулавливающими устройствами. При этом все более возрастают требования по обеспечению качества воздуха рабочей зоны предприятий, которое обеспечивается эффективной и



надежной работой систем аспирации и устанавливаемых в них устройств сепарации пыли, обеспыливающих выбросы в атмосферу.

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, [1-5]. Описание методик проведения дисперсионного анализа пыли также широко представлены в литературе [2-3, 6].

Необходимость точного определения геометрических параметров: эквивалентных размеров, гидравлической крупности, – является важной технической задачей, решение которой в большинстве случаев позволяет получить искомый результат. Одним из основных геометрических параметров является эффективный диаметр, эквивалентный размер d_{pe} , или гидравлическая крупность частиц пыли [7, 8]. Данные параметры в значительной мере влияют на скорость витания частиц пыли в газе u_p , и являются базовыми для численного расчета движения пылегазового потока в пылеуловителях, так называемой CFD – гидродинамики, например, в циклонах и инерционных пылеуловителях различных модификаций. В статьях [7, 8] в рассмотрено также влияние некоторых конструктивных элементов в противоточном циклоне. В CFD – гидродинамики модели описания учитывались особенности влияния конической насадки на газодинамическую картину в циклоне. На основании проведенного анализа трехмерного поля скорости внутри противоточного циклона было предложено рассчитывать такие устройства с использованием параметра гравитационной гидравлической крупности, как одной из основных характеристик улавливаемых частиц пыли.



В работе [9] проведен обзор ряда исследований численного моделирования (CDF гидродинамики) циклонов и рассмотрено влияние обратных внутренних (восходящих) потоков газа, которые снижают степень сепарации пыли внутри циклонов. В работе было предложено использовать понятие «естественной» длиной циклона, которое объясняет причины нестабильности работы и образования вторичных двухфазных потоков в циклоне. Выполнено математическое описание полей течения, тангенциальной скорости, перепада давления внутри циклонов и эффективности пылеулавливания.

Другим перспективным направлением является совершенствование и разработка новых конструкций центробежно-инерционных пылеуловителей. В работах [10 - 12] были посвящены исследованию пылеулавливания и разработке новых пылеуловителей инерционного и циклонного типов на основе использования результатов проведенного дисперсионного анализа пыли. В статье [10] приведены результаты исследований процесса улавливания летучей золы в экспериментальной модели электроциклона. Был определен дисперсный состав анализа летучей золы. Установлено, что в разработанной конструкции аппарата степень очистки при электроциклонном режиме значительно выше (близка к 100%), чем при циклонном (90-90%). Суммарная степень очистки определялась с учетом дисперсного состава и размеров частиц пыли летучей золы. В статье [11] 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. В работах [12, 13] обосновано использование устройства мокрой очистки выбросов систем обеспыливания производства керамзита. В работах



[12, 13] отмечено, что при разработке устройства мокрой очистки выбросов [14] учитывались результаты проведенного дисперсионного анализа пыли керамзита в очищаемом пылегазовом потоке. В работах [12, 13] представлены результаты исследований дисперсного состава пыли керамзита, средемедианного эффективного диаметра δ_{50} , интегрального распределения размеров частиц пыли по эффективным диаметрам $D(d_p)$ и степени проскока (эффективности улавливания) в исследованных аэродинамических режимах работы устройства в форме регрессии [13].

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 [15, 16] отмечена важность учета фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} . В статье [15] указано на актуальность и пути сокращения выбросов дисперсных частиц в атмосферу с использованием приведенных результатов численного моделирования пылеулавливания в технологических системах. В статье [16] представлены результаты основных показателей выбросов пыли асбестоцемента в атмосферный воздух с использованием результатов проведенного дисперсионного анализа частиц пыли. Приведены данные по количественному содержанию фракций мелкодисперсных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в выбросах в атмосферу пыли производства асбестоцемента. Указано на необходимость учета данных фракций пыли моделировании рассеивания в атмосфере [16].

Следует также отметить интерес к анализу содержания фракций мелкодисперсных частиц пыли, например, PM_{10} в выбросах в атмосферу промышленных предприятий и автотранспорта. В работе [17] отмечено, что инвентаризация выбросов может служить основой для разработки программ управления качеством воздуха. На выполненные в работе исследования [17] был сделан акцент в основном на промышленность, строительство.



Учитывались также склады хранения как источники загрязнения. При этом использованием критерия, включая ПДК для твердых частицы ($C_{\text{пдк тч}}$). Усилия по установлению контроля в развивающихся странах, в основном ограничиваются общей концентрацией взвешенных частиц ($\text{ПДК } C_{\text{пдк тч}}$), или ПДК для частиц PM_{10} , или их совместным учетом. Так как побочные эффекты частиц PM_{10} зависят от их химического состава, важно контролировать выбросы токсичных веществ различных видов. Эта статья представляет собой поход, или вид инвентаризации выбросов PM_{10} для столицы Индии Дели, одного из самых загрязненных городов в Индии. Созданная инвентаризация выбросов PM_{10} для Дели в сочетании с профилем источников была использована для оценки выбросов основных компонентов PM_{10} в том числе органических: и элементарного углерода, сульфатов (SO_4^{2-}), и нитратов (NO_3), Также были выбраны токсичные металлы (Pb, Ni, V и Hg), мышьяк, в соответствии с требованиями национальным стандартов качества окружающей среды Индии качества воздуха (НСКОВ). Были определены выбросы данных веществ в т/сут. В этой инвентаризации выбросов выбросы тяжелых металлов свинца и ртути (Pb, Hg) учтены частично. При фазовом переходе из газовой фазы паров ртути в твердые частицы учесть в полном объеме данное преобразование в мере значительной затруднено. Кроме того от неорганизованных источников выбросов заводов по производству свинца определить точное количество частиц PM_{10} , участвующих во вторичном переносе, взаимодействии с другими веществами не представляется возможным.

Анализ ограниченного объемом статьи даже незначительного количества литературных источников показывает на необходимость учета содержания фракций мелкодисперсных частиц пыли, например, $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , адсорбирующих на своей поверхности в том числе токсичные вещества, в выбросах систем аспирации и технологической 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 видится наиболее целесообразным нормирование содержания фракций частиц пыли $PM_{2,5}$ и PM_{10} в выбросах систем аспирации и технологической вентиляции стройиндустрии в атмосферный воздух [18]. Проведенный анализ литературы, например [16, 18], показывает, что результаты дисперсионного анализа используются при численном моделировании пылеулавливания для достижения высокой степени сепарации пыли из очищаемого пылегазового потока в системах обеспыливания систем аспирации и вентиляции, в выбросах в атмосферу предприятий строительства и промышленности. Кроме того, значения эффективных диаметров, или эквивалентных размеров частиц пыли d_{pe} значительно влияют на турбулентный перенос, например, при стратификации и рассеивании в атмосфере, что требует более точного их определения [15, 18].

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 [19].

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 .

Эффективная величина горизонтальной проекции площади поперечного сечения частицы $S_{эф}$ и соответствующий ей размер диаметра частицы пыли d_{pe} являются вероятностными величинами, так как частицы произвольной, отличающейся 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 [19] 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, 3, 20], предлагается определять эквивалентные величины диаметров частицы пыли d_{pe} .

Следует также отметить, что отклонение $D(d_p)$ от прямопропорционального вида зависимости в логарифмической системе координат может также объясняться, не только тем, что форма и количество относительно крупных частиц может также меняться от фракции к фракции. При этом для малых частиц (менее 2,5 мкм) форма стремится к шарообразной [1]. Для частиц с большим значением d_{pe} форма в большей степени отличается от шарообразной, и горизонтальная проекция площади поперечного сечения частицы может удовлетворительно аппроксимироваться теми или иными геометрическими фигурами [1]. При этом, чем крупнее частица (эффективный диаметр d_{pe}), тем частица пыли на исследуемой поверхности пластины (ленты) стремится принимать наиболее устойчивое с точки зрения статики положение с наибольшим поперечным сечением частицы в горизонтальной проекции, - опорой на поверхность пластины.

На основании проведенного анализа физической сущности витания частиц можно считать, что величина скорости витания частиц в газе v_p является функцией эффективной величины горизонтальной проекции площади поперечного сечения частицы $S_{эф}$, и эквивалентного ей диаметра частиц пыли d_{pe} . При этом величина эффективной горизонтальной проекции площади поперечного сечения частицы $S_{эф}$ определяется на основе дисперсионного анализа пыли по методике [6]. При этом, диаметры частиц пыли d_p и распределение частиц пыли $D(d_p)$ по фракциям, следовало бы рассчитывать из экспериментально получаемой величины $S_{эф}$, полученных значений дисперсного анализа пыли.



Наиболее правильно определять величину эффективной горизонтальной проекции площади поперечного сечения частицы $S_{\text{эф}}$ из величины ее объема V , определяемого. Аппроксимацию формы частицы возможно осуществлять наиболее простыми геометрическим фигурами [1] с использованием данных дисперсионного анализа [2-4, 6]. Для более точного определения объема V следует проводить уточненный расчет соответствующих им основных параметров (диаметра d_{pi} шара, параметров-радиусов эллипса, диаметра d_{pi} и высотой цилиндра) и т.п. Можно предположить, что при дисперсном анализе величина эффективной площади поперечного сечения частицы $S_{\text{эф}}$ в горизонтальной проекции является максимальной S_{max} . Величина S_{min} может быть определена в первом приближении аналитически исходя из аппроксимируемых по форме тех или иных геометрических фигур.

Таким образом, более при проведении дисперсного анализа и определении основных параметров частиц при аппроксимации их форм упрощенными геометрическими фигурами, например шаром, – диаметра d_{pi} шара. При этом, скорости витания частиц в газе u_p должны соотноситься со скорректированными данным образом, основными параметров геометрических тел-примитивов: эквивалентным объему диаметром шара $d_{\text{эи}}$, радиусов эллипса, диаметром ($d_{\text{э1}}, d_{\text{э2}}$) и высотой цилиндра $h_{\text{эц}}$ и т.п.).

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:

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

где d_p – диаметр частицы, м.



Практически на установке [19] определяется гидравлический размер, или гидравлическая крупность частицы d_{pe} (ι_{pe}) [7, 8], интегрально учитывающий геометрические и физические характеристики эквивалентного размера (диаметра) частиц пыли d_{pe} , который определяется в свою очередь из соотношения (1)

$$d_{pe}(\iota_{pe}) = \sqrt{18 \nu \tau_p / \pi \rho_p} \quad (2)$$

где τ_p – время оседания частиц эквивалентного размера (диаметра) d_{pe} , определяемое экспериментально на установке [19], с;

ν – кинематическая вязкость воздуха (газовоздушной смеси), $\text{м}^2/\text{с}$;

ρ_p – плотность частиц пыли, $\text{кг}/\text{м}^3$.

В тоже самое время на установке [19] проводится дисперсионный анализ частиц пыли с использованием методики [3, 6]. При этом определяется размер частиц d_p . В каждом из участков ленты на установке определяется эффективный размер, эквивалентный по площади диаметр частиц пыли d_p (по фракциям) по значениям d_{pe} и ι_{pe} . Эквивалентный диаметр частиц пыли d_{pe} (по фракциям), который в первом приближении можно определять, например, по соотношению с использованием среднегеометрической величины, свойственной геометрической фигуре (линейным размерам, диаметрам и т.п.), который с учетом соотношений (1) и (2) примет вид

$$d_{pg} = \frac{2d_p \sqrt{18 \nu \tau_p / \pi \rho_p}}{\left(d_p + \sqrt{18 \nu \tau_p / \pi \rho_p}\right)} \quad (3)$$

Среднегеометрическое значение величины эквивалентного диаметра частиц пыли d_{pg} для фракции получается исходя из анализа интегральной функции распределения $D(d_{pg})$. Обычно дисперсный состав представлен



графиком распределения частиц пыли, пример которого приведен на рис. 1. При этом зависимость $D(d_{pg})$ как функция эквивалентного диаметра частиц пыли d_{pg} , в логарифмических координатах, в первом приближении [1] может быть представлена в виде

$$D(d_{pg}) = C + Ad_{pg} \quad (4)$$

где A и C – некоторые постоянные величины для образцов исследуемой пыли.

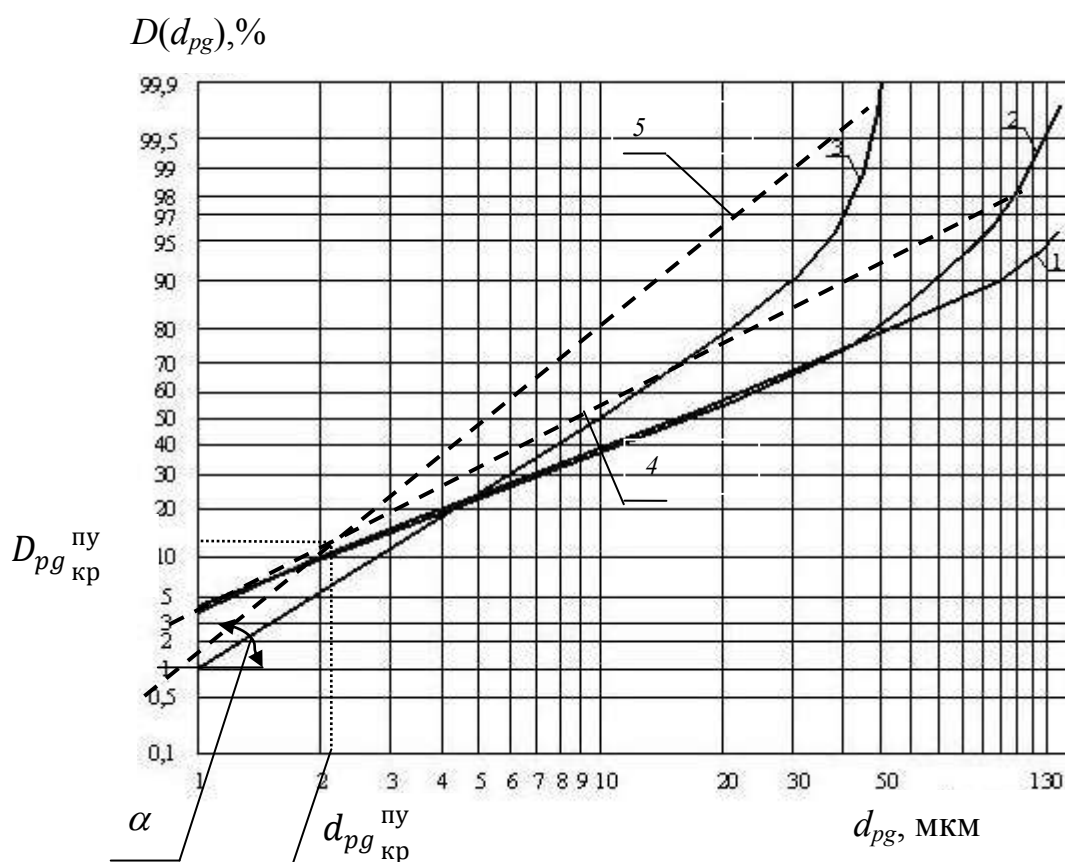


Рисунок. 1 График зависимости интегрального распределения частиц пыли $D(d_{pg})$ по размерам d_{pg} для некоторых видов пыли стройиндустрии:

1,2, – по экспериментальным данным на входе в систему обеспыливания (в пылеуловитель), 3–по экспериментальным данным на выходе из системы обеспыливания (пылеуловителя), 4 – зависимость, получаемая по обработке экспериментальных данных зависимости 2, 5 –



зависимость, получаемая по обработке экспериментальных данных зависимости 3.

Известно, что если в соотношении (4) в реальном графике распределения $C \rightarrow 0$. В графике распределения, например, – для зависимости 4, получаемой при статистической обработке экспериментальных данных зависимости 2, в общем случае $C \geq 0$, а постоянная A определяется из известного равенства

$$A = tg(\alpha) \quad (5)$$

где, например, измерением.

Аналитически угол α определяется из соотношения [1]

$$tg(\alpha) = \frac{1}{\beta\sqrt{2}} \quad (6)$$

где $\beta^2 = \overline{(d - \bar{d})^2}$ – среднеквадратическое отклонение, или дисперсия величины среднегеометрический размер частиц d_{pg} от диаметра \bar{d} .

В физическом смысле угол α является показателем, или степенью дисперсности пыли Δ_d . Аналитически получаемое численное значение величины $tg(\alpha)$ характеризует степень мелкодисперсности пыли Δ_d . Чем больше $tg(\alpha)$ (угол α), тем пыль имеет состав более высокой степени мелкодисперсности Δ_d . Получаемое среднегеометрическое значение величины эквивалентного диаметра частиц пыли d_{pg} получается исходя из анализа осредненной по экспериментальным данным интегральной функции распределения $D(d_{pg})$ (зависимость, получаемая по обработке экспериментальных данных зависимости 3). По данным литературы [1], данный показатель d_{pg} (эквивалентный среднегеометрический размер частиц) более точно характеризует исследуемый образец пыли, так как сглаживает известные дефекты проведения дисперсионного анализа частиц



пыли при микроскопическом исследовании, например, с использованием методик [3, 6]. При этом, для достижения высокой степени сепарации пыли пылеуловителем η среднемедианное значение $\delta_{pe}^{ny\text{ вых}}_{50}$ размера частиц пыли на выходе из пылеулавливающего устройства должно быть меньше среднемедианного значения δ_{pe50} для частиц пыли на входе в пылеуловитель. Величины δ_{pe50} , $\delta_{pe}^{ny\text{ вых}}_{50}$ и $\delta_{pe}^{ny\text{ вых}}_{кр}$ определяются на основе математической обработки экспериментально получаемых данных дисперсного состава вида (4) для пыли во входном и выходном патрубке пылеуловителя в исследуемых аэродинамических режимах. Исходя из анализа зависимостей 4 и 5, изображенных на рис.1, и можно сделать вывод о значимости точки их пересечения $\delta_{pe}^{ny\text{ вых}}_{кр}$ и о степени сепарации пыли из очищаемого пылегазового потока улавливающего устройства η . Можно сделать заключение, что значение d_{pe}^{ny} является некоторым критически значением, меньше которого пылеуловитель не улавливает частицы пыли. При этом изменение эквивалентного диаметра частиц пыли: укрупнение частиц за счет их взаимодействия (коагуляции, гранулирования (сцепления) и т.п. влияющих факторов) и истирание (дезинтеграция) в пылеуловителе не учитывается. В этом случае величина степени сепарации пыли пылеуловителем может оцениваться по соотношению

$$\eta \leq 100 - D(d_{pg}^{ny}_{кр}) \quad (7)$$

где $D(d_{pg}^{ny}_{кр})$ – значение интегральной функции распределения $D(d_{pg})$

для величины эквивалентного диаметра частиц пыли d_{pg}^{ny} , %.

Выводы.

1. В работе предложен метод оценки величины эффективности пыли пылеулавливающим устройством на основе данных дисперсионного анализа пыли во входном и выходном патрубке пылеуловителя в



исследуемых аэродинамических режимах. Данный подход может быть использован не только для прогнозирования для эффективности пылеулавливания, но и дополнением к известным методам такого параметра (метод внешней фильтрации при исследовании работы пылеуловителя).

2. Эквивалентный среднегеометрический размер частиц d_{pg} , определяемый при математической обработке данных дисперсионного анализа пыли, и интегральная функции распределения $D(d_{pg})$ более точно характеризуют исследуемый образец пыли, так как сглаживают известные дефекты дисперсионного анализа частиц пыли при микроскопическом исследовании. осредненной получаемой экспериментально. Такой подход целесообразно использовать для разработки новых конструкций пылеуловителей с задаваемой степенью сепарации пыли пылеуловителем с определяемыми параметрами $\delta_{pe\ 50}$ и $D(d_{pg})$ улавливаемых частиц пыли.



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. Коузов, П. А. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л.: Химия. 1983. 138 с.
 4. Коузов, П. А. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. Л.: Химия, 1982. 256 с.
 5. 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.
 6. 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.
 7. Ватин, Н. И., Стрелец, К. И. Определение характеристик сварочных икр для расчета их удаления в циклоне // Инженерно-строительный журнал. 2011. №5. С. 25-30.
 8. 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.
 9. Cortes C., Gil A. Modeling the gas and particle flow inside cyclone separators // Progress in energy and combustion Science. 2007. V. 33. №. 5. Pp. 409-452.
 10. Инюшкин, Н.В., Ермаков, С.А., Титов, А.Г. Исследование процесса улавливания летучей золы в экспериментальной модели
-



электроциклона // Инженерный вестник Дона, 2011, №4 URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/524.

11. Сергина, Н. М., Семенова, Е. А., Кисленко, Т. А. Система обеспыливания для производства керамзита // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n4y2013/2013.

12. Кошкарев, 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.

13. Азаров, В.Н., Кошкарев, С.А., Соломахина, Л. Я. К экспериментальной оценке эффективности аппарата мокрой очистки в системах обеспыливания выбросов от печей обжига керамзита // Инженерный вестник Дона, 2014, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/ N4y2014/2572

14. Патент №139122 Россия, МКИ В 01 Д 47/02. Устройство для очистки газов / Кошкарев, С.А., Азаров, В. Н., Кисленко, Т.А [и др.]. Заявка № 2013138200/05; Заявлено 15.08.2013. Оpubл. бюллетень №10 10.04.2014.

15. 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, вып. 2 (№2). URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/58.

16. 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, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2539.



17. Gargava P. et al. Speciated PM 10 Emission Inventory for Delhi, India //Aerosol and Air Quality Research. 2014. V. 14. Pp. 1515-1526.
18. Маринин, Н.А. Исследование дисперсного состава пыли в инженерно-экологических системах и выбросах в атмосферу предприятий стройиндустрии: автореф. дис. ... канд. техн. наук наук: 05.23.19. Волгоград, 2014. 20 с.
19. 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.
20. 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. Kouzov, P. A. Metody opredelenija fiziko-himicheskikh svojstv promyshlennyh pylej [Methods for determination of physical and chemical properties of industrial dusts]. L.: Himija [Chemistry]. 1983. 138 p.
4. Kouzov, P. A. Ochistka ot pyli gazov i vozduha v himicheskoy promyshlennosti [Dust cleaning of gas and air in the chemical industry]. L.: Himija [Chemistry], 1982. 256 p.



5. Azarov, V. N. Kompleksnaja ocenka pylevoj obstanovki i razrabotka mer po snizheniju zapylennosti vozduшной среды promyshlennyh predpriyatij: avtoref. dis. ... d-r tehn. nauk nauk: 05.26.01. Rostov-na-Donu, 2004. 48 p.

6. Azarov V.N., Sergina N.M. Deponirovannaja rukopis'. Deponirovano VINITI 15.07.2002 №1332-80002. 7 p.

7. Vatin, N. I., Strelec, K. I. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2011. №5. Pp. 25-30.

8. 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.

9. Cortes C., Gil A. Modeling the gas and particle flow inside cyclone separators. Progress in energy and combustion Science. 2007. V. 33. №. 5. Pp. 409-452.

10. Injushkin, N.V., Ermakov, S.A., Titov, A.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/524.

11. Sergina, N. M., Semenova, E. A., Kislenko, T. A. Inženernyj vestnik Dona (Rus). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2013.

12. Koshkarev, S.A., Kislenko, T.A. Al'ternativnaja jenergetika i jekologija, 2013, №11. Pp. 47-49.

13. Azarov, V.N., Koshkarev, S.A., Solomahina, L. Ja. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2572

14. Patent №139122 Rossiya, MKI V 01 D 47/02. Ustrojstvo dlja ochistki gazov. Koshkarev, S.A., Azarov, V. N., Kislenko, T.A [i dr.]. Zajavka № 2013138200/05; Zajavleno 15.08.2013. Opubl. bjulleten' №10 10.04.2014.

15. Bahtin, N. I., Janjushkin, V.V. Ol'shevskij, D. V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2008. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/58.



16. Azarov, V.N., Koshkarev, S.A., Nikolenko, M.A., Burhanova, R.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2539.

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

18. 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.

19. 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.

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