

УДК 631.36:628.51

МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Куц Виктор Петрович,

канд. техн. наук, профессор каф. пищевых технологий Тернопольского национального технического университета им. Ивана Пулюя, Украина, 46001, г. Тернополь, ул. Руська, 56. E-mail: Victor_Kuts@tstu.edu.ua

Слободян Степан Михайлович,

д-р техн. наук, профессор каф. геологии и разработки нефтяных месторождений Института природных ресурсов ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: sms_46@ngs.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью очистки техногенных выбросов предприятий.

Цель работы: Создание методики расчетов эффективности созданных пылеулавливающих систем – центробежно-инерционных с жалюзийным отводом воздуха, мокрых и магнитных.

Методы исследования: системный подход с применением аналитических расчетов, методы численного анализа и исследования экспериментальных образцов пылеуловителей.

Результаты: Изложена методика расчета эффективности созданных пылеулавливающих систем – центробежно-инерционных с жалюзийным отводом воздуха, мокрых и магнитных. Оценена их эффективность в условиях, отличающихся от условий эксперимента, для обеспечения нормативной остаточной концентрации пыли в выбросах с учетом надежности работы пылеуловителей при эксплуатации.

Описан метод оценки эффективности созданных авторами конструкций и принципа действия новых устройств с использованием анализа дисперсного состава пылевидных материалов. Рассматривается концепция интегрированных моделей и конструкций конкретных устройств и систем для анализа дисперсного состава пылевидных материалов, которая объединяет новые и известные взаимно дополняющие методы и средства анализа дисперсного состава пылевидных материалов. Работа посвящена исследованию проблемы оценки для различных логических моделей и принципа действия практических конструкций новых устройств для анализа дисперсного состава пылевидных материалов. Применение предложенных устройств позволяет значительно сократить длительность анализа по сравнению с известными методами: седиментометрии – разделение частиц по размерам, вторым – по скорости движения частиц в воздушной среде. Рассматриваются возможности решения проблемы экологии, в том числе возможные варианты оценки состояния загрязнения водной и воздушной среды городов выбросами промышленных предприятий и транспорта. Изложена методика расчетов эффективности созданных новых и усовершенствованных пылеулавливающих систем – центробежно-инерционных с жалюзийным отводом воздуха, мокрых и магнитных. В работе показано, что учёт уравнений взаимосвязи параметров новых устройств с применением предложенного метода анализа дисперсного состава порошков и пылевидных материалов обуславливает отличие от нуля погрешностей оценки, что позволяет решить проблему оценки размеров частиц, фракций, контроля и диагностики вне рамок традиционных подходов решения этой проблемы.

Ключевые слова:

Оценка, эффективность, пыль, улавливание, предельно допустимая концентрация (ПДК), ступенчатая система.

Введение

Очистка техногенных выбросов предприятий является весьма актуальной в наше время проблемой. Её решению в настоящее время уделяется много внимания [1–12]. Однако полностью обеспечить требования к допустимому остаточному содержанию пыли в выбросах промышленных и вентиляционных установок только с помощью одного пылеуловителя [1–5] удается очень редко. Ведь применение даже самого эффективного пылеулавливающего аппарата возможно только при достаточно малом содержании пыли в газовых средах, подлежащих очистке. При сильной запыленности газовой среды (200...300 г/м³) приходится использовать несколько аппаратов, причем на каждой следующей ступени должны использоваться пылеуловители более высокого класса, чем на предыдущих. Ступенчатый подход объединения средств очистки применяют в следующих случаях. Во-первых, для достижения концентрации пыли в выбросах уловителями с меньшей, чем это необхо-

димо, эффективностью. Во-вторых, когда хотят получить из первых ступеней очистки, в которых, как правило, используют сухие пылеуловители (пылеосадительные камеры, циклоны), крупнодисперсный порошок, пригодный для применения в технологии, или более удобный для транспортировки, чем шлам мокрых пылеуловителей.

Анализ последних исследований и публикаций показывает [1–10], что в разных странах постоянно создаются новые технические средства для предотвращения загрязнения воздушной среды и борьбы с ним, причем более совершенные и, как правило, более сложные, что отражается на их стоимости, которая составляет от 10 до 40–50 % стоимости оборудования основного производства. При этом развитие пылеочистного оборудования [11–18] идет как путем создания качественно новых типов аппаратов, так и создания пылеуловителей, в которых сочетаются принципы действия нескольких уже известных аппаратов. Во втором случае удается не только повысить эффективность очистки и

снизить ее стоимость в сравнении с одиночным применением отдельных аппаратов, принцип действия которых сочетается, но и уменьшить производственные площади, занимаемые этим оборудованием. Положительные результаты исследований одного из первых пылеуловителей, с сочетанием принципов действия центробежных и жалюзийных аппаратов [13, 14], и успешная эксплуатация аппаратов такого типа на нескольких предприятиях стали убедительным доказательством целесообразности их создания и продолжения поисков путей улучшения их основных показателей работы.

С развитием теории и практики пылеулавливания в 50-х гг. прошлого века появился качественно новый тип аппаратов – аппараты со встречными закрученными потоками или вихревые аппараты, которые, как и циклоны, являются аппаратами центробежного действия. Эти пылеуловители позволяют эффективно улавливать частицы пыли размером 3...5 мкм, которые трудно удаляются даже самыми эффективными циклонами. Их применяют в горнодобывающей, пищевой, химической и многих других отраслях промышленности для очистки газов в сушилках, мельницах, смесителях. От циклонов вихревые пылеуловители отличаются наличием в них двух встречных в осевом направлении закрученных потоков: нижнего (первичного) и верхнего (вторичного).

Основные положения

При использовании рукавных фильтров обычно предварительное отделение части пыли необходимо при начальной её концентрации, превышающей 20 г/м³, или при необходимости фракционирования частиц уловленного материала путем выделения крупных фракций в первой степени очистки.

Эффективность пылеуловителя или суммарная эффективность пылеулавливающей установки E , % должна быть не менее величины

$$E = \frac{C_H - C_K}{C_H} \cdot 100, \quad (1)$$

где C_H – концентрация твердых частиц в воздухе, поступающем на очистку, мг/м³; C_K – конечная концентрация твердых частиц в очищенном воздухе, мг/м³. Величина C_K должна быть не больше допустимой остаточной концентрации, которая определяется по формуле

$$C_K = (160 - 4L) \cdot k,$$

где L – расход запыленного воздуха, тыс. м³/ч; k – коэффициент, зависящий от ПДК ($k=0,3-1$). При $L > 15$ тыс. м³/ч $C_K = 100 k$.

При наличии значительных подсосов воздуха эффективность более точно выразится формулой

$$E = \frac{L_H C_H - L_K C_K}{L_H C_H},$$

где L_H и L_K – расход, соответственно, запыленного и очищенного воздуха.

Эффективность отдельных ступеней, например, двухступенчатой установки, определяется по формулам:

$$\text{первой ступени: } E_1 = \frac{C_H - C_1}{C_H} \cdot 100; \quad (2)$$

$$\text{второй ступени: } E_2 = \frac{C_1 - C_K}{C_1} \cdot 100, \quad (3)$$

где C_1 и C_K – соответственно, концентрация пыли в воздухе на выходе пылеуловителей, первой и второй (конечной) ступеней. Значения этих концентраций находятся из формул (2) и (3): $C_1 = C_H - C_H E_1$ и $C_K = C_1 - C_1 E_2$.

После подстановки и преобразований получим

$$C_K = C_1 + C_H (E_1 E_2 - E_2). \quad (4)$$

Формула для общей эффективности имеет вид

$$E_{1,2} = E_1 + E_2 (1 - E_1). \quad (5)$$

Аналогично для трехступенчатой установки

$$E_{1,2,3} = E_{1,2} + E_3 (1 - E_{1,2}). \quad (6)$$

Полученные формулы на стадии проектирования позволяют оценить эффективность пылеуловителя конечной ступени очистки, необходимую для обеспечения нормируемой остаточной запыленности очищенного выброса [11–12] или же необходимое количество ступеней очистки.

Экспериментальные исследования

Результаты экспериментальных исследований трех конструкций [13–15] пылеулавливающих аппаратов: жалюзийно-вихревого, батарейного циклона с жалюзийными элементами и циклона со ступенчатым отводом пыли, говорят о том, что по эффективности и гидравлическому сопротивлению они превосходят известные в настоящее время аппараты центробежной очистки – циклоны.

Улучшение этих показателей обусловлено сочетанием в предложенных пылеуловителях двух принципов разделения запыленных потоков: центробежного, как в циклонах, и жалюзийных (прохождение через решетки). Все типы аппаратов испытывались по требованиям стандартной методики, рекомендованной для такого пылеочистного оборудования. Исследования проводились в два этапа: сначала, на первом этапе, на не запыленном воздухе определялись гидродинамические характеристики и изучалось влияние на них режимных и конструктивных параметров, а затем определялась эффективность пылеулавливания и исследовалось влияние на нее тех же параметров. В качестве экспериментальной использовалась кварцевая пыль с медианным распределением диаметра частиц $\delta_{50} = 8$ мкм плотностью $\rho_H = 2650$ кг/м³. Начальная концентрация пыли в воздухе, поступающем в аппарат, составляла $C_H = 3$ г/м³.

В натуральных испытаниях учтены конструктивные особенности каждого аппарата для использования в полной мере их преимуществ и устранения

выявленных недостатков. Это позволило получить результаты, не вызывающие сомнений в их достоверности.

Самый высокий показатель эффективности пылеулавливания в жалюзийно-вихревом пылеуловителе диаметром 0,16 м составляет 96 %. Его эффективность выше эффективности аппарата со встречными закрученными потоками (без жалюзи решетки).

Оптимальные значения режимных и конструктивных параметров:

- а) скорость в поперечном плане (сечении) аппарата составляет 3,7 м/с;
- б) скорость прохождения воздуха через жалюзийную решетку близка к 4,5 м/с. Эту скорость при оптимальных значениях расходов в пылеуловителях такой конструкции обеспечивает жалюзийная решетка с коэффициентом живого сечения $k_p=0,4$;
- в) количество направляющих спиральных перегородок в завихрителях как первичного, так и вторичного воздушных потоков составляет 4;
- г) соотношение расходов вторичного и первичного потоков равно 2,3;
- д) гидравлическое сопротивление пылеуловителя при этом составляет $\Delta p=1155$ Па, коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta=132$.

В батарейном циклоне с жалюзийными элементами наивысшая эффективность достигает 93 % при следующих значениях параметров:

- а) скорость в поперечном сечении (плане) циклонных элементов близка к 3,5 м/с;
- б) скорость прохождения воздуха через жалюзийные решетки циклонных элементов находится в пределах 4,5–5,0 м/с;
- в) направляющие аппараты в циклонных элементах – аппараты типа «розетка»;
- г) гидравлическое сопротивление пылеуловителя составляет 753 Па, а коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta=102$.

При использовании направляющих аппаратов типа «винт» максимальная эффективность пылеулавливания достигает 91 % при гидравлическом сопротивлении 502 Па (коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta=68$).

Максимальный показатель эффективности пылеулавливания в циклоне со ступенчатым отводом пыли составляет 95 % для аппарата диаметром 0,4 м, и 96 % – для аппарата диаметром 0,1 м при следующих режимных и конструктивных параметрах:

- а) скорость пылегазового потока на входе в аппарат находится в пределах 25–28 м/с;
- б) скорость потока в сечении аппарата в пределах 3,5–4,0 м/с;
- в) скорость прохождения воздуха через жалюзийную решетку в пределах 4–5 м/с;
- г) гидравлическое сопротивление аппаратов при этом составило 850 Па, коэффициент гидравлического сопротивления, отнесенный к входной скорости, равен 1,84, а коэффициент сопротивления, отнесенный к скорости в поперечном се-

чении аппарата, – 115 для пылеуловителя диаметром 0,4 м, а для пылеуловителя диаметром 0,1 м с гидравлическим сопротивлением 790 Па коэффициенты сопротивления 1,91 и 107.

Результаты и их обсуждение

В процессе экспериментальных исследований эффективность пылеулавливания, достигнутая во всех трех типах предложенных пылеуловителей с жалюзийным отводом воздуха, довольно высокая. Она выше эффективности других существующих пылеуловителей того же класса, однако достичь норм остаточного содержания пыли в очищенном воздухе только за счет применения одного любого из аппаратов оказалось невозможным. Поэтому рекомендовать их применение можно в качестве ступеней очистки перед аппаратами высших классов. Для применения аппаратов [13–15] в конкретных условиях производства следует учесть специфику этих условий и внести коррективы в показатели, полученные при исследованиях в лабораторных условиях. В процессе создания экспериментальных образцов пылеуловителей, с проведением соответствующего объема исследований и опытной эксплуатацией, разработана методика теоретического определения конструктивных размеров и основных показателей пылеуловителей, которая позволяет на стадии проектирования систем пылеочистки оценивать целесообразность применения в них того или иного комплекта систем, с учетом используемых вариантов комплексирования базовых пылеуловительных устройств. Для проверки достоверности и целесообразности принятых при создании конструктивных решений и замыслов любое новое оборудование должно быть испытано по общепринятой для такого класса оборудования методике, а полученные результаты должны быть пригодными для сравнения с показателями существующих аппаратов. Для пылеуловителей известная методика предусматривает определение основных показателей их работы – гидравлического сопротивления и эффективности очистки – и влияния на эти показатели режимных и конструктивных параметров. Гидравлическое сопротивление определяется на не запыленном газе, а для определения эффективности используют стандартную пыль, требования к которой регламентированы той же методикой. Различие данных эксперимента и расчетных по изложенной методике при определении гидравлического сопротивления составляет 12 %, а при определении эффективности пылеулавливания – 6 % [16].

Эксплуатационные свойства всех типов предложенных пылеуловителей, которые будут работать в условиях, отличающихся от тех, для которых известны экспериментальные данные по фракционной эффективности, могут быть предусмотрены на основе имеющихся данных путем сопоставления с экспериментальными данными [16]:

- 1) при изменении плотности пыли размер частиц новой пыли, которые будут улавливаться с той

- же эффективностью, что и частицы заданного размера тестовой пыли, может быть найден путем умножения размера тестовой пыли на величину, равную отношению: $(\text{плотность тестовой пыли}/\text{плотность новой пыли})^{1/2}$;
- 2) при изменении объемной скорости газового потока, проходящего через пылеуловитель, при новом расходе размер частиц, которые будут улавливаться с той же эффективностью, что и частицы тестового размера при экспериментальном расходе, может быть рассчитан путем умножения размера частиц экспериментальной пыли на величину, определяемую соотношением: $(\text{экспериментальный расход}/\text{новый расход})^{1/2}$;
 - 3) при изменении вязкости газа (например, связанном с изменением температуры газа) размер частиц при равной эффективности можно найти умножением размера частицы тестовой пыли на величину отношения: $(\text{новая вязкость}/\text{тестовая вязкость})^{1/2}$;
 - 4) при изменении диаметра пылеуловителя (циклонного элемента батарейного циклона), но при сохранении геометрического подобия с экспериментальным аппаратом, размер частиц для равной эффективности может быть найден умножением размера частицы экспериментального циклона на величину корня квадратного из отношения: $(\text{диаметр новой модели}/\text{диаметр экспериментальной модели})^{1/2}$.

Так как разработанные пылеуловители (жалюзийно-вихревой, батарейный циклон с жалюзийными элементами, циклон со ступенчатым отводом пыли), исследованные на экспериментальном стенде, имели различную производительность и различные диаметры, целесообразно оценить их эффективность при одинаковой производительности, воспользовавшись приведенными выше множителями.

Если принять конкретное значение расхода газового потока (производительность пылеуловителя), например $3000 \text{ м}^3/\text{час}$ ($0,83 \text{ м}^3/\text{с}$), то для жалюзийно-вихревого пылеуловителя производительностью $0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ ($250 \text{ м}^3/\text{час}$) поправочный множитель для исчисления размера частиц при изменении расхода составит $\sqrt{0,07/0,83}=0,29$.

Для батарейного циклона с жалюзи элементами производительности $0,55 \text{ м}^3/\text{с}$ ($2000 \text{ м}^3/\text{час}$) без изменения диаметра циклона элементов (самых эффективных, с наименьшим рекомендованным размером) при изменении расхода изменится только количество циклонных элементов. Итак, при производительности $3000 \text{ м}^3/\text{час}$ ($0,83 \text{ м}^3/\text{с}$) их количество должно быть в 1,5 раза больше, чем в исследованном аппарате, то есть 12.

Для циклона со ступенчатым отводом пыли поправочный множитель для аппарата производительностью $0,44 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1600 \text{ м}^3/\text{час}$) равен: $\sqrt{0,44/0,83}=0,73$; для аппарата производительностью $0,0277 \text{ м}^3/\text{с}$ ($100 \text{ м}^3/\text{с}$): $\sqrt{0,0277/0,83}=0,18$.

Однако внесение поправки на изменение производительности в пылеуловителе выглядит не совсем корректным без установления определенных границ таких изменений, например не более $\pm 20 \%$ от оптимальной производительности, ведь конструкции аппаратов рассчитываются по оптимальным значениям скоростей в них. Значительное изменение этих скоростей может очень существенно повлиять в первую очередь на гидравлическое сопротивление аппарата и не привести к улучшению эффективности.

Если же сделать перерасчет диаметра частиц, которые полностью улавливаются в аппарате другого размера, по формуле

$$d'_c = d_c \sqrt{D'/D},$$

(где d'_c – диаметр частиц, улавливаемых в новом аппарате, м; d_c – диаметр частиц, улавливаемых в исследованном аппарате, м; D' – диаметр нового аппарата, м; D – диаметр исследованного аппарата, м), а затем по графику интегральной функции распределения экспериментального пыли определить эффективность очистки в новом аппарате, то для жалюзийно-вихревого пылеуловителя производительностью $3000 \text{ м}^3/\text{час}$ ($0,83 \text{ м}^3/\text{с}$) она составит 93% (диаметр аппарата при этом $0,53 \text{ м}$), а для циклона со ступенчатым отводом пыли – 92% (диаметр аппарата при этом $0,55 \text{ м}$).

Эти значения эффективности позволяют определить эффективность очистки системой той же производительности $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,83 \text{ м}^3/\text{с}$) с одним из рассматриваемых уловителей на первой ступени и, например, мокрого пылеуловителя [17] – на второй ступени, эффективность которого составляет $98,5 \%$. Предельно допустимая концентрация пыли в очищенном воздухе составляет $5 \text{ мг}/\text{м}^3$. Используя формулу (5), можно найти значение эффективности этой двухступенчатой установки $E_{1,2}$. Из формулы (1) можно определить предельное значение начальной зависимости газового потока, при которой можно достичь нормируемого значения C_k .

Наибольшую начальную запыленность газового потока, который можно очистить до ПДК в трехступенчатой установке из циклона со ступенчатым отводом пыли, жалюзийно-вихревого пылеуловителя и мокрого пылеуловителя, можно определить, используя формулы (5), (6) и (1). Расчетное значение начальной запыленности при этом составит величину равную $C_k=60 \text{ г}/\text{м}^3$. Значит, для очистки газов с большей запыленностью на первой ступени очистных систем нужно использовать пылеуловители других типов, которые позволили бы уловить основную часть пыли. Для очистки газов от пыли с ферромагнитными свойствами на конечной ступени очистки можно использовать предложенный автором магнитный пылеуловитель [18].

Определение областей рационального применения, разработка методики определения технико-экономических показателей способствовали ускорению практического применения созданных ап-

паратов в конкретных условиях разных производств. Разработанные авторами пылеуловители с успехом эксплуатируются на семи предприятиях различных отраслей с высокой эффективностью и надежностью.

Заключение

Результаты анализа говорят о том, что использование в очистных системах предложенных пылеуловителей позволяет достичь допустимого остаточного содержания пыли в выбросах промышленных и вентиляционных установок при некотором начальном содержании пыли в газах, поступающих на очистку. При большей начальной запыленности необходимо применять пылеочистные аппараты, способные существенно уменьшать пылевые нагрузки на следующие ступени очистных систем. Максимальная начальная запыленность газового потока, при которой можно достичь ПДК пыли в очищенном воздухе в пылеулавливающей установке из указанных пылеуловителей, составляет 60 г/м³. Повышение чувствительности, снижение погрешности измерений и более точная оценка меры и объема промышленных

выбросов загрязнений природной среды приводят к необходимости использования для целей оценки выбросов более точных оптических и других электромагнитных волновых методов контроля и диагностики сред и веществ. В средствах и системах автоматического контроля и диагностики состояния концентрации пыли в наблюдаемом пространстве и в выбросах абсорберов и пылеуловителей [1–10] весьма эффективным решением станет применение оптических и лазерных, в том числе гетеродинных, интерферометрических и доплеровских, методов и фотоприёмных систем, обеспечивающих высокую чувствительность, фемтосекундное быстроедействие и дистанционный контроль [4, 10, 19–24]. Постоянное совершенствование используемых в настоящее время методов, методик и приборов контроля пылевого и аэрозольного промышленного загрязнения воздушной и водных сред приводит к необходимости применения новых технических средств для предотвращения загрязнения среды и борьбы с ним, причем более совершенных. Они, как правило, и более сложные, что отражается на стоимости решения задач [1–10, 19–22].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Arffman A., Marjamäki M., Keskinen J. Simulation of low pressure impactor collection efficiency curves // *Journal of Aerosol Science*. – 2011. – V. 42. – № 5. – P. 329–340.
- Investigation of solid particle number measurement: Existence and nature of sub-23 nm particles under PMP methodology / Z. Zheng, C. Kent, Z. Liu, T. Durbin, S. Hu, T. Huai, D. Kittelson, H. Jung // *Journal of Aerosol Science*. – 2011. – V. 42. – № 12. – P. 883–897.
- Modelling and measurement of particle deposition for cell exposure at the air-liquid interface / A. Comouth, H. Saathoff, K. Naumann, S. Muelhopt, H. Paur, T. Leisner // *Journal of Aerosol Science*. – 2013. – V. 63. – № 1. – P. 103–110.
- Milián C., Skryabin D. Soliton families and resonant radiation in a micro-ring resonator near zero group-velocity dispersion: erratum // *Optics Express*. – 2014. – V. 22. – Iss. 7. – P. 8068–8069.
- Evaluation of composition-dependent collection efficiencies for the aerodyne aerosol mass spectrometer using field data / A. Middlebrook, R. Bahreini, J. Jimenez, M. Canagaratna // *Aerosol Science and Technology*. – 2012. – V. 46. – № 3. – P. 258–271.
- Littringer E., Mescher A. Spray Drying of Mannitol as a Drug Carrier – The Impact of Process Parameters on Product Properties // *Drying Technology*. – 2012. – V. 30. – № 1. – P. 114–124.
- Бадалян Л.Х., Курдюков В.Н., Алейникова А.М. Теоретические основы системы учёта фактических выбросов загрязняющих веществ автотранспортом // *Безопасность жизнедеятельности*. – 2013. – № 5. – С. 31–37.
- Шмиголь И.Н., Володин А.М., Тимашков К.В. Интенсифицированный абсорбер для улавливания диоксида серы из дымовых газов // *Энергетик*. – 2013. – № 12. – С. 48–49.
- Дева В.С., Слободян С.М. Физическая модель пространства скользящего взаимодействия сред // *Известия Алтайского государственного университета*. – 2013. – № 1/1 (77). – С. 157–161.
- Микрофизические параметры и элементный состав атмосферного аэрозоля в г. Барнауле в 2006–2008 гг. / В.Ю. Бортников, В.И. Букатый, И.В. Рябинин, Г.А. Семенов // *Известия Алтайского государственного университета*. – 2009. – № 1 (59). – С. 103–107.
- Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. – М.: Стройиздат, 1981. – 296 с.
- Белевицкий А.М. Проектирование газоочистительных сооружений. – Л.: Химия, 1990. – 228 с.
- Жалюзийно-вихревой пылеуловитель: пат. Украина № 23900; заявл. 24.06.96; опубл. 31.08.98. Бюл. № 4. – 6 с.
- Батарейный циклон с жалюзийными элементами: пат. Украина № 59139; заявл. 24.02.03; опубл. 15.08.03. Бюл. № 8. – 4 с.
- Циклон повышенной эффективности со ступенчатым отводом твердой фазы: пат. Украина № 62320; заявл. 04.03.03; опубл. 15.12.03. Бюл. № 12. – 4 с.
- Страус В. Промышленная очистка газов / пер. с англ. – М.: Химия, 1981. – 616 с.
- Аппарат для мокрого пылеулавливания: пат. на полезную модель Украина № 35760; заявл. 03.03.08; опубл. 16.10.08. Бюл. № 19. – 2 с.
- Устройство для удаления аэрозольных частиц из газового потока: пат. на полезную модель Украина № 39426; заявл. 09.09.08; опубл. 25.02.09. Бюл. № 4. – 2 с.
- Slobodyan S.M. Optimizing phase-space scanning by a dynamic system for monitoring chaotic media // *Measurement Techniques*. – 2006. – V. 49. – № 1. – P. 1–6.
- Арутюнов В.А., Слободян С.М. Исследование ПЗС-датчика волнового фронта адаптивно-оптической системы фокусировки излучения // *Приборы и техника эксперимента*. – 1985. – № 1. – С. 160–162.
- Регистрация импульсного лазерного излучения фотоприемником на основе матрицы ПЗС / В.Ф. Волков, А.К. Пешель, С.М. Слободян, И.С. Тырышкин // *Приборы и техника эксперимента*. – 1981. – № 6. – С. 176–178.
- Слободян С.М. Диссекторные гетеродинные системы // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1986. – № 6. – С. 62–72.
- Slobodyan S.M. Investigation of the correlation between direct and specular-reflected waves // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. – 1992. – V. 1693. – P. 492–494.
- Slobodyan S.M., Kohanov V.I., Shishigin S.A. Time trend of spectral radiation from laser spark // *11th International conference on spectral line shapes: Scientific program and abstract*. – Carry le Rouet, June 8–12, 1992. – P. A01–A02.

Поступила 27.03.2014 г.

UDC 631.36:628.51

METHOD FOR ESTIMATING DEDUSTING SYSTEM EFFICIENCY

Viktor P. Kuts,

Cand. Sc., I. Pulyuya Ternopil National Technical University, 565, Russian street,
Ternopil, 46001, Ukraine. E-mail: Victor_Kuts@tstu.edu.ua

Stepan M. Slobodyan,

Dr. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: sms_46@ngs.ru

The urgency of the discussed issue is caused by the need to provide the technology of industrial recycling of technogenic dust in air of mining enterprises.

The main aim of the study is to develop the technique for calculating the efficiency of the existing dedusting systems – centrifugal inertia with air exhaust louver, wet and magnetic ones.

The methods used in the study: system approach with analytic calculations, methods of experiment measurements and investigations of dedusting systems.

The results: The paper introduces the technique for calculating the efficiency of the developed dedusting systems: centrifugal inertia with air exhaust louver, wet and magnetic ones. To ensure regulatory residual dust concentration in emissions taking into account the reliability of dust collectors in their operation the authors have estimated the efficiency of the systems under conditions differing from the experimental ones. The paper describes the technique, design and operation principle of new devices for analyzing dust particulate materials. The article considers the concept of integrated models and constructions of certain devices and systems to analyze dust particulate materials. The concept combines new and existing complementary methods, and means of analysis of dust particulate materials. The work is devoted to investigation of estimation problem for different logical models and mode of operation of new devices for the analysis of dust particulate materials. Application of the devices proposed can significantly reduce duration of analysis in comparison with the known methods: in one device the separation of the particle size is done by sedimentometer, in another device – by particle motion rate in the air. The paper considers the concept of integrated ecology problems which combines complementary methods and devices for the analysis of dust particulate materials and powders disperse composition. The authors propose the methodology for calculating the efficiency of the developed dedusting systems: the centrifugal inertia with air exhaust louver, wet and magnetic ones. It is shown that the account of equations of parameters connections in new devices applying a new analyzing technique for powder and dedusting materials particle distribution determines the difference from zero of estimations approximations. It allows solving the estimation problem of particle sizes, fractions, control and diagnosis out-of-frame of traditional approaches to the problem solution.

Key words:

Estimation, efficiency, dust, dedusting, maximum permissible concentration (MPC), step system.

REFERENCES

- Arffman A., Marjamäki M., Keskinen J. Simulation of low pressure impactor collection efficiency curves. *Journal of Aerosol Science*, 2011, vol. 42, no. 5, pp. 329–340.
- Zheng Z., Kent C., Liu Z., Durbin T., Hu S., Huai T., Kittelson D., Jung H. Investigation of solid particle number measurement: Existence and nature of sub-23 nm particles under PMP methodology. *Journal of Aerosol Science*, 2011, vol. 42, no. 12, pp. 883–897.
- Comouth A., Saathoff H., Naumann K., Muelhopt S., Paur H., Leisner T. Modelling and measurement of particle deposition for cell exposure at the air-liquid interface. *Journal of Aerosol Science*, 2013, vol. 63, no. 1, pp. 103–110.
- Milián C., Skryabin D. Soliton families and resonant radiation in a micro-ring resonator near zero group-velocity dispersion: erratum. *Optics Express*, 2014, vol. 22, Iss. 7, pp. 8068–8069.
- Middlebrook A., Bahreini R., Jimenez J., Canagaratna M. Evaluation of composition-dependent collection efficiencies for the aerodyne aerosol mass spectrometer using field data. *Aerosol Science and Technology*, 2012, vol. 46, no. 3, pp. 258–271.
- Litringer E., Mescher A. Spray drying of mannitol as a drug carrier—the impact of process parameters on product properties. *Drying Technology*, 2012, vol. 30, no. 1, pp. 114–124.
- Badalyan L.H., Kurdyukov V.N., Aleynikova A.M. Teoreticheskie osnovy sistemy ucheta vrednykh vybrosov transporta [Theoretical bases of the system of transport emissions calculation]. *Bezopasnost zhiznedeyatelnosti – Life safety*, 2013, no. 5, pp. 31–37.
- Shmigol I.N., Volodin A.M., Timashkov K.V. Intensifitsirovanny absorber dlya ulavlivaniya dioksida sery iz gaza [Intensification absorber for sulfur dioxide dedusting from gas]. *Energetik*, 2013, no. 12, pp. 48–49.
- Deeva V.S., Slobodyan S.M. Fiziceskaya model prostranstva skolyashchego kontakta sred [Sliding space model of media physical contact]. *Izvestiya ASU*, 2013, no. 1/1 (77), pp. 157–161.
- Bortnikov V.Yu., Bukaty V.I., Ryabinin I.V., Semenov G.A. Mikrofizicheskie parametry i elementny sostav atmosfernogo aerosolya v Barnaule v 2006–2008 gg. [Microphysic parameters and elemental composition of atmospheric aerosol in Barnaul in 2006–2008]. *Izvestiya ASU*, 2009, no. 1 (59), pp. 103–107.
- Pirumov A.I. *Obespylivanie vozdukh* [Air dedusting]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981. 296 p.
- Belevitsky A.M. *Proektirovanie gazoochistnykh sooruzheniy* [Design of gas treatment facilities]. Leningrad, Khimiya Publ., 1990. 228 p.
- Kuts V.P., Kaspruk V.B., Pleskun M.I. *Zhalyuziyno-vikhrevoyy puleulovitel* [The jalousie dedusting system]. Patent UA, no. 23900, 1996.
- Kuts V.P., Yarosh Ya.D., Martsiyash O.M. *Batareyny tsikhon s zhalyuziynymi elementami* [The exhaust cyclone in jalousie elements]. Patent UA, no. 59139, 2003.
- Kuts V.P., Martsiyash O.M., Yarosh Ya.D. *Tsikhon povyshennoy effektivnosti so stupenchatym otvodom tverdogo fazy elementami* [High efficiency cyclone with step separation of solid phase by the elements]. Patent UA, no. 62320, 2003.

16. Straus V. *Promyshlennaya ochistka gasa* [Industrial gas dedusting]. Moscow, Khimiya Publ., 1981. 616 p.
17. Kuts V.P., Gorishna G.P., Martsiyash O.M. *Apparat dlya mokrogo pylulavlivaniya* [The apparatus for wet dust exhaust]. Patent UA, no. 35760, 2008.
18. Kuts V.P. *Ustroystvo dlya udaleniya aerosolnykh chastits iz gazovogo potoka* [The devices for separating aerosol particles from gas flow]. Patent UA, no. 39426, 2009.
19. Slobodyan S.M. Optimizing phase-space scanning by a dynamic system for monitoring chaotic media. *Measurement Techniques*, 2006, vol. 49, no. 1, pp. 1–6.
20. Arutyunov V.A., Slobodyan S.M. Investigation of a CCD Wave Front Sensor of an Adaptive Optics Radiation Focusing System. *Instruments and Experimental Techniques*, 1985, vol. 28, pp. 160–162.
21. Volkov V.F., Peshel A.K., Slobodyan S.M., Tyryshkin I.S. Registration of a pulsed laser beam by a matrix of charge-coupled devices. *Instruments and Experimental Techniques*, 1981, no. 6, pp. 176–178.
22. Slobodyan S.M. Dissektornye geterodinnye sistemy [Dissector heterodin systems]. *Zarubezhnaya Radioelektronika*, 1986, no. 6, pp. 62–72.
23. Slobodyan S.M. Investigation of the correlation between direct and specular-reflected waves. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 1992, vol. 1693, pp. 492–494.
24. Slobodyan S.M., Kokhanov V.I., Shishigin S.A. Time trend of spectral radiation from laser spark. *11th International conference on spectral line shapes. Scientific program and abstract*. Carry le Rouet, June 8–12, 1992. pp. A01–A02.

Received: 27 March 2014.