УДК 621.928.9

А.Ф. Сорокопуд, К.Б. Плотников

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РОТОРНОГО РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ

Исследовано влияние на КПД пылеочистки в роторном распылительном аппарате диаметром 0,25 м скорости газа, скорости истечения жидкости, диаметра диспергирующих отверстий при запылении воздуха подсырной сывороткой, кормовыми дрожжами и инертной пылью, среднемедианный размер которых составляет от 0,86 до 1,4 мкм. Приведено сравнение исследованного аппарата с известными конструкциями по основным техникоэкономическим характеристикам.

Эффективность пылеочистки, роторный распылительный пылеуловитель, инертная пыль, пыль сыворотки, дрожжевая пыль.

Введение

Очистка промышленных газов от пылей – актуальная проблема как с экономической, так и с экологической точки зрения, так как теряется зачастую готовый продукт, выбросы которого в атмосферу ухудшают санитарно-гигиеническое состояние территории предприятия и могут наносить вред окружающей среде.

Многие пыли пищевых продуктов могут быть взрывоопасны, причем риск их воспламенения увеличивается с уменьшением размера частиц, которые витают в рабочих помещениях цеха, что заставляет использовать более совершенные аппараты для очистки промышленных выбросов.

Количество частиц, уносимых с отработанными газами после сушилок размерами менее 3 мкм, составляет 7–12 % [1]. В качестве первой ступени очистки сушильных газов на предприятии зачастую используются батареи циклонов, которые улавливают частицы размером 5–10 мкм с эффективностью 90–95 % и вследствие этого количество мелкой фракции после очистки увеличивается с 7–12 до 20–35 % по массе [1]. В результате вышесказанного представляет интерес изучение процесса улавливания частиц пыли размером менее 3 мкм на второй ступени очистки газов, где чаще используются мокрые пылеуловители.

Целью работы является исследование эффективности роторного распылительного пылеуловителя (рис. 1) [2] с внутренней циркуляцией и самоорошением рабочей жидкостью в зависимости от основных параметров: скорости газа, скорости истечения жидкости, диаметра диспергирующих отверстий, концентрации модельных пылей в воздухе (инертной, подсырной, дрожжевой).

Объект и методы исследования

Объектом исследования является роторный распылительный пылеуловитель (РРП) (рис. 1). РРП содержит вал 1, подшипниковую опору 2, сепаратор 3, крыльчатку-сепаратор 4, корпус 5, транспортирующий цилиндр 6 с заборным устройством 14. В нижней части пылеуловителя установлен бункер 11 с гидрозатвором 9 и патрубком удаления шлама 10. На корпусе установлен патрубок ввода орошающей жидкости 13.

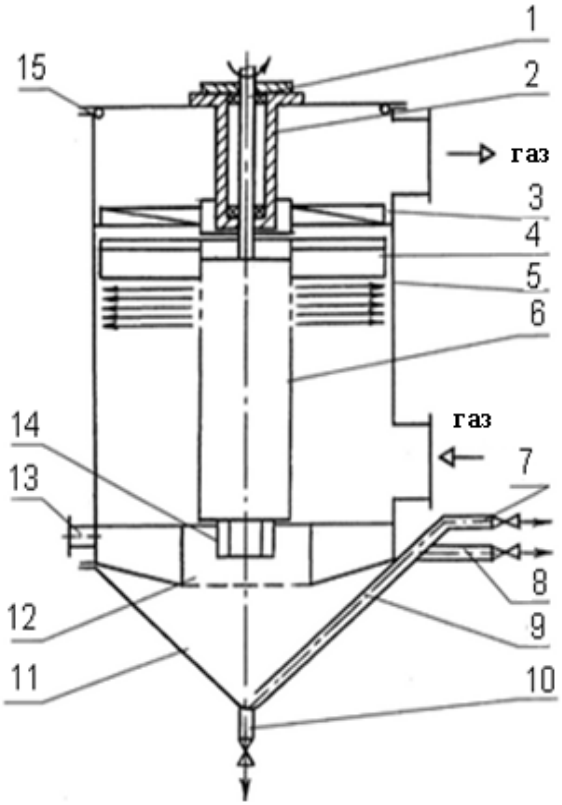

Рис. 1. Роторный распылительный пылеуловитель

РРП работает следующим образом. Очищаемый газ вводится в аппарат по патрубку, установленному тангенциально к корпусу 5. Отразившись от слоя жидкости в бункере 11 и сохраняя закрученное движение, газ движется вверх, соприкасается с пленкой рабочей жидкости, стекающей по корпусу 5.

Основной контакт между очищаемым газом и жидкостью осуществляется в зоне диспергирования последней через распыливающие отверстия.

Пристенный каплеотбойник (на рис. 1 не показан) представляет собой набор пластин, вертикально установленных на высоту факела распыла. Пластины изготовлены из нержавеющей стали и установлены под углом 15–20 ° к касательной, проведенной к окружности распылителя, с шагом, в 2 раза большим их ширины. В результате этого капли факела распыла (первичные) касательно ударяются о поверхность пластин и их энергия затрачивается в ос-

новном на скольжение по пластинкам и перемешивание пленки жидкости на них, а не на дробление на мелкие (вторичные) капли, как при прямом ударе.

Необходимый уровень рабочей жидкости поддерживается с помощью регулятора, вынесенного за пределы аппарата. Расход рабочей жидкости (воды) составлял: $L_ж$=1,6·10^{-5} м^3/с.

Жидкость из бункера заборным устройством 14 с помощью транспортирующего цилиндра 6 поднимается к распыливающим отверстиям и за счет центробежной силы диспергируется на струи и капли, образуя факел распыла. Отразившись от пластин каплеотбойника, рабочая жидкость в виде пленки стекает по внутренней поверхности корпуса 5 в бункер, откуда вновь подается на диспергирование. Штуцеры 7 и 8 позволяют создать различный уровень рабочей жидкости в аппарате.

Для определения эффективности работы аппарата использовались модельные пыли со среднемедианным размером частиц менее 3 мкм. Для получения таких пылей исходные продукты предварительно измельчались на вибрационной мельнице МВ-60 с количеством проходов от 8 до 10 в зависимости от свойств продукта.

Инертная пыль представляет собой тонкомолотый негорючий материал, в основном известняк, присутствует также глинистый сланец, гипс, глина и др., используемый как средство пылевзрывозащиты в шахтах. Инертная пыль плохо смачивается водой, а также легче поддается измельчению до мелкодисперсных фракций, что позволяет расширить область эксперимента, поскольку пыль сыворотки молочной и дрожжевая пыль хорошо смачиваются.

Дисперсный состав пыли определялся методом оптической микроскопии с последующей обработкой микрофотографий согласно методике, изложенной в литературе [3]. На биологическом микроскопе Levenhuk 40L NG, снабженном цифровой камерой DCM310, проводилось фотографирование. Обработка фотографий осуществлялась на ЭВМ. Увеличение на микроскопе составляло 640 раз. Размер исходных частиц подсырной сыворотки 10–100 мкм [4], сухих кормовых дрожжей – 100–350 мкм, инертной пыли – 15–150 мкм. Размер исходных частиц двух последних продуктов определен нами с использованием микроскопа.

На рис. 2 представлен дисперсный состав модельных пылей. Средне медианный размер частиц инертной пыли составляет δ_{50}=0,859, мкм дрожжевой δ_{50}=0,967, мкм подсырной сыворотки δ_{50}=1,39, мкм, что соответствует поставленной цели исследования.

Для определения эффективности работы РРП диаметром 0,25 м с диспергирующим устройством диаметром 0,075 м были проведены серии экспериментов в следующих диапазонах варьирования параметров: диаметры диспергирующих отверстий d_0=1,4–2,5 мм расположенные в 6 рядов с шагом t=3d_0, выбирались из условия устойчивого истечения жидкости при условии d_0>1,4 и обеспечения достаточной поверхности контакта фаз при d_0<2,5, скорости воздуха $U_г$=1,94–3,95 м/с, скорости истечения жидкости $U_ж$=3–3,8 м/с, концентрации пыли $C_п$=0,5–4,2 г/м$^{3.Д}$. Диапазон изменения концентрации пыли задавали, используя литературные данные [5].

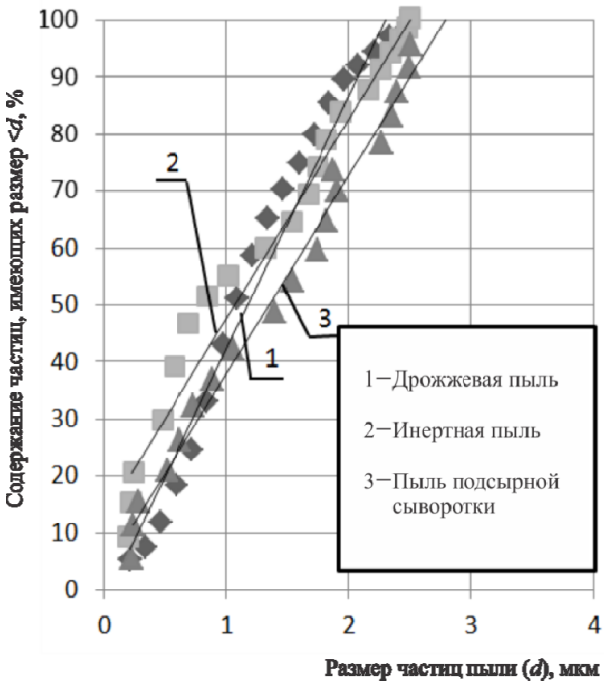

Рис. 2. Дисперсный состав модельных пылей

Предварительные испытания позволили определить предельную нагрузку по газу, которая обусловлена брызгоуносом. Нижний предел скорости истечения жидкости был принят из условий создания устойчивого факела распыла, верхний предел ограничивался частотой вращения ротора, при которой брызгоунос имел допустимые значения при максимальной скорости воздуха. Скорость истечения жидкости рассчитывали по формуле:

$$U_ж = \frac{\pi \cdot n \cdot R}{30}, \frac{м}{с}, \quad (1)$$

где n – частота вращения ротора, об/мин; R – радиус диспергирующего устройства, 0,0375 м.

Была предварительно проведена подготовка к отбору проб пыли. Выбран участок газохода, место для установки штуцера, в котором будет находиться пылезаборная трубка во время отбора. Определены статический напор в сечении газохода, скорость газа в тех точках, где предполагался отбор пыли для расчета диаметра отверстия наконечника трубки. Эти мероприятия согласовывались с рекомендациями, изложенными в литературе [6].

Концентрацию пыли на входе в аппарат определяли по расходу воздуха и производительности шнекового питателя, которые предварительно измерялись. Концентрацию пыли на входе рассчитывали по формуле:

$$C_{п.д.} = \frac{M}{П}, \frac{г}{м^3}, \quad (2)$$

где M – производительность дозатора пыли, г/с; $П$ – производительность РРП по газу, м^3/с.

Отбор проб воздуха из воздуховода после РРП осуществлялся пылезаборной трубкой в течение 10–20 мин. Расчет эффективности вели по концентрации пыли в воздухе до поступления в аппарат и на выходе из него. Для определения количества пыли, которая не уловилась в аппарате, использовались водостойкие фильтры АФА-ВП-20-1 из волокнистого материала, которые предварительно сушились в эксикаторе в течение 24 часов и подвергались взвешиванию на аналитических весах ВЛР-200 с точностью измерения ±0,15 мг. После окончания отбора проб пыль, собранную на фильтровальной перегородке, помещали на сутки в эксикатор для удаления влаги при комнатной температуре. После этого производили взвешивание фильтров для определения количества пыли, находившейся на них. Расчет эффективности работы аппарата производили по формуле:

$$\eta = \frac{G'_{ч} G''_{ч}}{G'_{ч}}, \qquad (3)$$

где $G'_{ч}$ и $G''_{ч}$ – массовый расход частиц пыли, содержащихся в газах соответственно на входе в аппарат и на выходе из него. Отбирали не менее двух проб пыли из воздуховода. С целью сокращения числа опытов был реализован дробный факторный эксперимент типа ДФЭ 2^{4-1}.

Результаты и их обсуждение

В результате исследования было установлено, что при увеличении скорости газа КПД аппарата уменьшается (рис. 3) на незначительную величину, поэтому его можно использовать для больших расходов по газу, чем достигнуто в экспериментах.

Увеличение скорости истечения жидкости приводит к повышению КПД (рис. 4), но при этом следует учитывать, что рост частоты вращения приводит к повышению энергозатрат. Поэтому с экономической точки зрения целесообразнее проводить процесс с меньшей скоростью истечения жидкости ($U_ж$=3 м/с), что соответствует частоте вращения ротора n=800 об/мин, обеспечивает его устойчивую работу.

Обработка экспериментальных данных по методике, изложенной в литературе [7], позволила получить обобщенное уравнение регрессии для определения КПД аппарата при улавливании модельных пылей:

$$\eta = 99{,}96002 + 0{,}00001288 \cdot d_0 + 0{,}00924 \cdot U_г + 0{,}00894 \cdot C_п + 0{,}00967 \cdot U_ж + 0{,}00406 \cdot U_г \cdot U_ж - 0{,}00318 \cdot U_п \cdot C_г - 0{,}00218 \cdot C_п \cdot U_ж. \qquad (4)$$

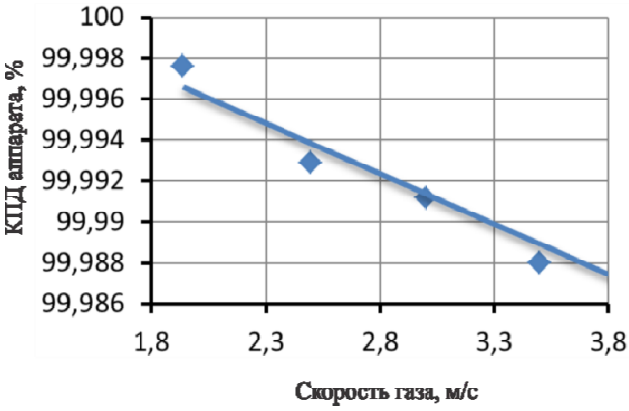

Рис. 3. Зависимость КПД аппарата от скорости газа (d_0=1,4 мм; $U_ж$=3,8 м/с)

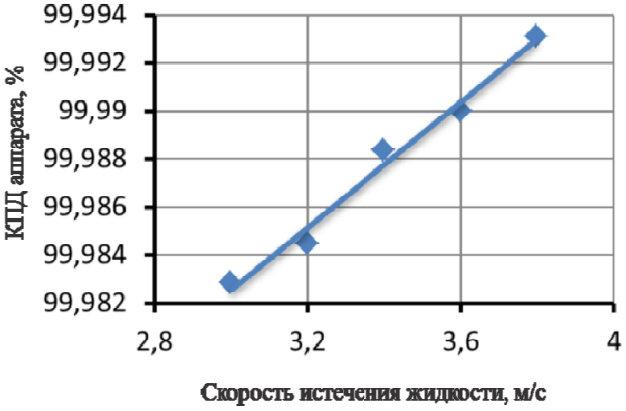

Рис. 4. Зависимость КПД аппарата от скорости истечения жидкости из диспергирующих отверстий (d_0=1,4 мм; $U_г$=1,94 м/с)

Коэффициент корреляции при этом равен R=99,985. Из уравнения видно, что на КПД наибольшее влияние оказывает концентрация пыли в воздухе. Так, при ее увеличении КПД снижается, скорость газа и скорость истечения жидкости из диспергирующих отверстий распылителя. Диаметры диспергирующих отверстий не оказывают значительного влияния на КПД, который во всем диапазоне изменения параметров был не менее 99 %. Принятые диапазоны изменения параметров позволяют моделировать режимы работы промышленных РРП. В частности, работа РРП на инертной пыли, которая плохо смачивается водой и не растворяется, позволила расширить область эксперимента и показать большие возможности мокрого пылеулавливания в РРП.

Основные характеристики РРП с других аппаратов мокрого типа приведены в табл. 1. Из ее данных видно, что исследуемый аппарат имеет высокий КПД по сравнению с другими, он обладает меньшим гидравлическим сопротивлением и меньшими удельными энергозатратами, что показывает экономическую целесообразность использования его в качестве второй ступени пылеочистки.

Таблица 1

Основные показатели работы аппаратов мокрого типа [8]

Показатель	Труба Вентури	Полый скруббер СП	Пенный аппарат	Скруббер с шаровой насадкой	РРП
Гидравлическое сопротивление, мм вод. ст.	300–3000	100–220	100–350	100–500	5–80
Удельные энергозатраты, кВт·ч/1000 м^3 газа	2–4	1,0–1,7	0,6–2,8	0,6–2,82	0,3–0,64
Скорость газа в аппарате, м/с	1,4–7,7	5–9	0,9–4,0	6–15	1,9–4,0
КПД аппарата, %	91	95	94–99	94–98	99

Выводы

В результате исследования эффективности работы РРП при улавливании модельных пылей: инертной, подсырной сыворотки, дрожжей, среднемедианный диаметр которых составляет соответственно δ_{50}=0,859; 1,39; 0,967 мкм, было найдено, что его КПД, превышает 99 %. Это является высоким показателем в сравнении с другими аппаратами мокрого типа (табл. 1) [8]. Путем обработки опытных данных получено уравнение, описывающее зависимости КПД аппарата от основных параметров, скорости газа, скорости истечения жидкости, диаметра диспергирующих отверстий (концентрации пыли). РРП обладает невысоким гидравлическим сопротивлением, незначительными удельными энергозатратами и достаточно прост в изготовлении, поэтому является перспективным и составляет обоснованную конкуренцию известным аппаратам мокрого пылеулавливания.

Список литературы

1. Швыдкий, В.С. Очистка газов / В.С. Швыдкий, М.В. Ладыгичев – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.

2. Пат. РФ 229610, B 01 D 47/16. Роторный пылеуловитель / Сорокопуд А.Ф. и др. Заявл. 08.04.2005; опубл. 10.04.2007.

3. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А. Коузов. – 3-е изд. перераб. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.

4. Чеботарев, Е.А. Свойства дисперсных систем – объектов сепарирования молочной сыворотки и её концентратов / Е.А. Чеботарев, С.А. Санжаровский, Н.Г. Чеботарева // Технические и прикладные науки. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2008. – № 1. – 236 с.

5. Варваров, В.В. Проблемы улавливания пылевидных фракций в технологии сыпучих пищевых продуктов / В.В. Варваров. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1988. – 136 с.

6. Коузов, П.А. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей / П.А. Коузов, Л.Я. Скрябина. – М.: Химия, 1983. – 143 с.

7. Куприенко, Н. В. Статистика. Методы анализа распределений. Выборочное наблюдение (с использованием ППП STATISTICA) / Н. В. Куприенко, О. А. Пономарева, Д. В. Тихонов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 133 с.

8. Сугак, Е.В. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами / Е.В. Сугак, Н.А. Войнов, Н.А. Николаев. – Казань: РИЦ «Школа», 1999. – 224 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел/факс: (3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

A.F. Sorokopud, K.B. Plotnikov

STUDY OF ROTARY SPRAY DUST COLLECTOR EFFICIENCNY

Investigated is the impact of dust cleaning efficiency on a rotary spray device with a diameter of 0,25 m of gas velocity; the fluid velocity; the diameter of the dispersing holes when the air is dusted with whey, fodder yeast and inert dust, their medium median size ranging from 0,86 to 1,4 um. The comparison of the studied device with known designs on the main technical economic characteristics is given.

Dust cleaning efficiency, rotary spray dust collector, inert dust, whey dust, yeast dust.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology,
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.
Phone/fax: +7(3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

Дата поступления: 01.07.2013