

ПРОЦЕССЫ, АППАРАТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 621.928.93

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТИПОВ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ

А. В. Акулич, В. М. Лустенков, К. В. Шушкевич, Н. В. Кондриков

Разработаны новые конструкции и изготовлены лабораторные модели комбинированного КП-150-1,36 и группового ГВП-120-2 пылеуловителей. На основе математического планирования проведены экспериментальные исследования гидродинамики комбинированного пылеуловителя. Впервые получены зависимости отношения потери давления к его минимальной величине ($\Delta P/\Delta P_{\min}$), коэффициента гидравлического сопротивления (ζ) и эффективности улавливания (η) для камеры центробежного отделения, стадии фильтрования, а также комбинированного пылеуловителя. Проведен сравнительный анализ технических характеристик комбинированного пылеуловителя с аппаратами других типов. Исследована гидродинамика группового вихревого пылеуловителя ГВП-120-2. Определены зависимости коэффициента гидравлического сопротивления и эффективности улавливания йодированной соли от кратности расхода. Разработаны и внедрены в промышленности комбинированные пылеуловители КП-350-10 и КП-400-10 и групповой вихревой пылеуловитель ГВП-750-2.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется повышению экологической безопасности производства. На многих предприятиях перерабатывающей промышленности остро стоит проблема пылеулавливания в системах аспирации и пневмотранспорта, где в одних случаях необходимо осуществлять тонкую очистку запыленного газа, в других – очищать большие его объемы.

Решение поставленных задач не всегда возможно достигнуть посредством существующего пылеулавливающего оборудования. Это объясняется тем, что возможности повышения эффективности обеспыливания промышленных газов в широко распространенном и традиционно используемом пылеочистном оборудовании (циклонах различных конструкций и рукавных фильтрах) за счет их режимной и конструктивной оптимизации практически исчерпаны.

Одним из путей решения проблемы является создание новых типов пылеулавливающего оборудования на основе взаимодействующих закрученных потоков, а также комбинированных аппаратов. Преимущество комбинированных пылеуловителей – это совмещение нескольких способов в едином энергетическом поле аппарата, как следствие – снижение габаритов и металлоемкости, а также энергозатрат на проведение процесса очистки газа.

Описание принципа работы пылеуловителей и результаты теоретических и экспериментальных исследований

В работе разработана принципиально новая конструкция комбинированного пылеуловителя на основе взаимодействующих закрученных потоков, в котором осуществляется центробежное отделение взвешенных частиц в системе двух закрученных в одном направлении и движущихся навстречу друг другу потоков газозвеси с последующей доочисткой газа фильтрованием [1–3]. Причем для более полного использования энергии крутки при перераспределении газа в рукава, выполненные из фильтровальной ткани и установленные вокруг камеры центробежного отделения, очистка производится в едином энергетическом поле.

Использование центробежного поля, образованного при взаимодействии закрученных потоков, на первой стадии очистки позволяет добиться высокой эффективности отделения пыли при сравнительно небольшом гидравлическом сопротивлении. При этом уменьшается пылевая нагрузка на фильтровальную ткань, что делает возможным повышение скорости фильтрования без снижения эффективности улавливания.

Разработана и изготовлена модель комбинированного пылеуловителя КП–150–1,36 и создана лабораторная установка [4]. Диаметр корпуса аппарата составляет 0,45 м при высоте 1,4 м. Вокруг камеры центробежного отделения диаметром 0,15 м и высотой 0,6 м по окружности установлено 12 рукавов общей площадью фильтрования 1,36 м².

Теоретически и экспериментально исследована гидродинамика разработанного комбинированного пылеуловителя. Установлено, что гидравлическое сопротивление комбинированного пылеуловителя состоит из суммы потерь давления элементов аппарата: камеры центробежного отделения и стадии фильтрования [5–6].

На основе уравнения энергетического баланса потоков, подаваемых в аппарат и с учетом особенностей процесса фильтрования через пористую перегородку, впервые получена зависимость для определения потери давления комбинированного пылеуловителя:

$$\Delta P = k\Delta P_1 + (1 - k)\Delta P_2 + \mu(Kw_\phi + K_{c.n}z_{вх}w_\phi^2), \quad (1)$$

где $k=V_1/V_0$ – кратность расхода; V_1 – расход периферийного потока газа, м³/с; V_2 – расход центрального потока газа, м³/с; $V_0=V_1+V_2$ – общий расход газа через аппарат, м³/с; $\Delta P_1, \Delta P_2$ – потери давления периферийного и центрального потоков, Па; K – коэффициент, характеризующий сопротивление фильтровальной перегородки с оставшимся на ней слоем пыли, м⁻¹; $K_{c.n}$ – коэффициент сопротивления слоя пыли, м/кг; w_ϕ – скорость фильтрования, м/с; $z_{вх}$ – концентрация пыли при входе на стадию фильтрования, кг/м³; μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с; τ – продолжительность фильтровального цикла, с.

В результате преобразования уравнения энергетического баланса получена зависимость для определения коэффициента гидравлического сопротивления разработанного пылеуловителя [7]:

$$\zeta = \zeta_1 k^3 + \zeta_2 (1 - k)^3 + \zeta_3 \frac{D_K^4}{n^2 d_\phi^4}, \quad (2)$$

где $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ – коэффициенты гидравлического сопротивления камеры центробежного отделения при подаче газа только через периферийный и центральный патрубки, и стадии фильтрования; D_K – диаметр камеры центробежного отделения, м; d_ϕ – диаметр рукава, м; n – число рукавов.

Проведено математическое планирование эксперимента по плану Бокса–Уилсона 2³+ звезда с двумя опытами в центре плана и величиной звездного плеча $\alpha=1,284$ [8]. В качестве выходных функций исследованы: отношение потери давления к его минимальной величине ($\Delta P_i/\Delta P_{\min}$), коэффициент гидравлического сопротивления (ζ) и эффективность улавливания аппарата (η) для камеры центробежного отделения, стадии фильтрования, а также

комбинированного пылеуловителя. Причем величина ΔP_{\min} соответствует наименьшему значению потери давления в исследуемом диапазоне факторов.

Факторами варьирования в интервалах выбраны: режимный параметр – кратность расхода ($k=0,35 \div 0,75$) и два конструктивных симплекса: отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру камеры центробежного отделения $\left(\frac{d_{в.тр}}{D_k} = 0,46 \div 0,74\right)$ и отношение диаметра рукава к его высоте $\left(\frac{d_p}{h_p} = 0,1 \div 0,14\right)$.

Проведен комплекс экспериментов по исследованию гидродинамики аппарата. Результаты обработаны с помощью пакета прикладных программ для математического и статистического анализа данных *STATGRAPHICS Plus*. Осуществлена оценка адекватности уравнений регрессии по критерию Фишера.

Впервые получены зависимости для определения и прогнозирования (3)–(5):

– отношения потери давления в комбинированном пылеуловителе к его минимальной величине:

$$\frac{\Delta P_0}{\Delta P_{\min}} = 9,15 - 4,54k - 10,17 \frac{d_{в.тр}}{D_k} - 19,3 \frac{d_p}{h_p} + 6,2k^2 - 2,9k \frac{d_{в.тр}}{D_k} + 7,25 \left(\frac{d_{в.тр}}{D_k}\right)^2 \quad (3)$$

– коэффициента гидравлического сопротивления аппарата:

$$\zeta_0 = 831,1 - 548,5k - 941,2 \frac{d_{в.тр}}{D_k} - 1595,8 \frac{d_p}{h_p} + 538,9k^2 + 576,3 \left(\frac{d_{в.тр}}{D_k}\right)^2 \quad (4)$$

– эффективности улавливания мелкодисперсной пыли в аппарате:

$$\eta_0 = 94,1 + 5,2k + 12,9 \frac{d_{в.тр}}{D_k} - 3,87k^2 - 9,8 \left(\frac{d_{в.тр}}{D_k}\right)^2 \quad (5)$$

Для расчетных зависимостей (3) – (5) в трехмерном пространстве построены поверхности отклика от k , $\left(\frac{d_{в.тр}}{D_k}\right)$, $\left(\frac{d_p}{h_p}\right)$. Постоянным принимался параметр с наименьшей значимостью.

Установлено, что при сочетании $k=0,35 \div 0,65$ и $\left(\frac{d_{в.тр}}{D_k}\right) = 0,55 \div 0,74$ при $\left(\frac{d_p}{h_p}\right) = 0,14$ $\zeta_0=87$ (рис. 1а), а $\Delta P_0/\Delta P_{\min}$ достигает 1,1.

Исследована эффективность улавливания мелкодисперсных дрожжей в разработанном аппарате. Для комбинированного пылеуловителя максимальные значения $\eta_0=99,9\%$ (рис. 1б), а для камеры центробежного отделения $\eta_1=96,6\%$ при $k=0,6 \div 0,75$ и $\left(\frac{d_{в.тр}}{D_k}\right) = 0,55 \div 0,65$, $\left(\frac{d_p}{h_p}\right) = 0,14$.

Рассматривая совместно полученные зависимости, установлено существование интервалов исследованных параметров $k=0,6 \div 0,65$, $\left(\frac{d_{в.тр}}{D_k}\right) = 0,55 \div 0,65$ и $\left(\frac{d_p}{h_p}\right) = 0,12 \div 0,14$, сочетание которых обеспечивает увеличение эффективности улавливания при снижении гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя. На основании полученных результатов выполнена оптимизация разработанного аппарата.

Проведен сравнительный анализ технических характеристик комбинированного пылеуловителя КП-150-1,36 с аналогичными аппаратами, применяемыми в промышленности: рукавными фильтрами различных конструкций при одинаковом расходе газа. Установлено, что разработанный пылеуловитель в четыре и более раз менее металлоемок (таблица 1).

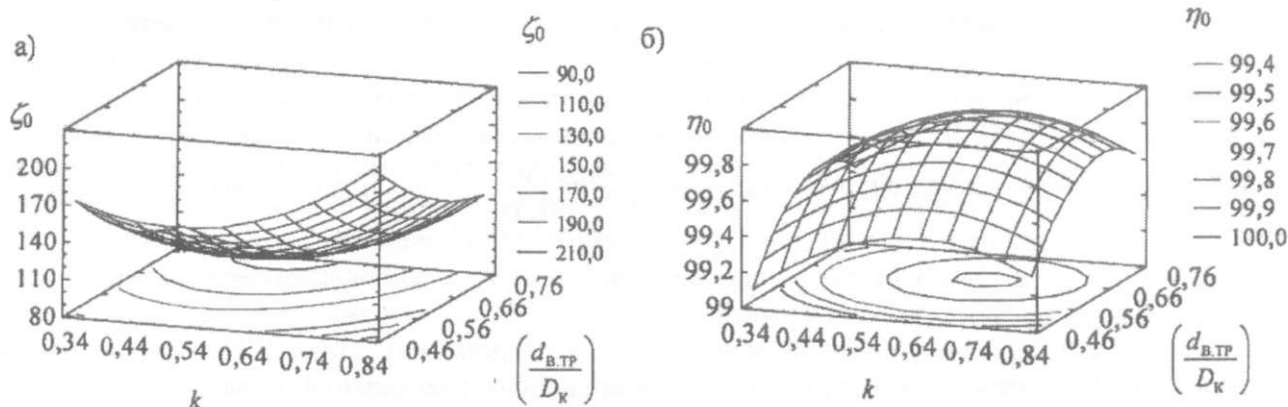


Рисунок 1 - Зависимости коэффициента гидравлического сопротивления ζ_0 (а) и эффективности улавливания дрожжей η_0 (б) в комбинированном пылеуловителе

КП-150-1,36 от k и $\left(\frac{d_{в.гп}}{D_k}\right)$ при $\left(\frac{d_p}{h_p} = 0.14\right)$

Из проведенного теоретического анализа вихревых пылеуловителей следует, что их эффективность снижается с увеличением диаметра корпуса. Поэтому при очистке большого объема запыленного газа в одном аппарате, обеспечивающем заданную производительность, недостаточна степень очистки газа. В этом случае необходимо подобрать аппарат такого диаметра, при котором достигается требуемая степень очистки, а затем собрать эти аппараты в групповую установку с числом элементов, обеспечивающим требуемую производительность при заданном перепаде давления на установке. Путем объединения вихревых аппаратов в групповые пылеулавливающие установки можно получить нужную производительность при требуемой эффективности очистки газа [9–11].

Таблица 1 - Основные технические характеристики пылеуловителей различных типов

| Технические характеристики | Циклоны | | Вихревые пылеуловители | | Рукавные фильтры | | Комбинированный пылеуловитель КП-150-1,36 |
|-----------------------------|---------|-------|------------------------|---------|------------------|---------------|---|
| | СКЦН-34 | УЦ-38 | ВСКП-200 | ВЗП-200 | ФРКН5ВУ-01 | ФРОС-13.5-500 | |
| $V_0, \text{ м}^3/\text{с}$ | 0,138 | 0,138 | 0,138 | 0,138 | 0,140 | 0,138 | 0,138 |
| $D_k, \text{ м}$ | 0,32 | 0,43 | 0,2 | 0,2 | — | — | 0,15 |
| $S_{\phi}, \text{ м}^2$ | — | — | — | — | 5 | 13,5 | 1,36 |
| $w_{нл}, \text{ м/с}$ | 1,72 | 0,95 | 4,5 | 4,5 | — | — | 7,8 |
| $w_{\phi}, \text{ м/мин}$ | — | — | — | — | 1,7 | 0,61 | 6,15 |
| ζ | 1150 | 957 | 126 | 45 | — | — | 86 |
| $\Delta P, \text{ Па}$ | 2041 | 518 | 1530 | 547 | 1800 | 2500 | 3250 |
| $\eta, \%$ | — | — | 99,33 | 99,2 | — | — | 99,96 |
| k | — | — | 0,65 | 0,65 | — | — | 0,65 |
| $M, \text{ кг}$ | 28 | 32 | 20 | 25 | 435 | 1100 | 85 |

Разработана новая конструкция экспериментального образца группового вихревого пылеуловителя с двумя корпусами диаметром 0,12 м (ГВП-120-2). При этом корпуса вихревых пылеуловителей установлены на цилиндро-коническом общем бункере без зазора. Для компактности и уменьшения металлоемкости патрубки периферийного потока газовой пыли, так же как и патрубки центрального потока каждого из корпусов, объединены в один и разделены перегородками, установленными в плоскости, проходящей через линию соединения корпусов [12–15].

Принцип работы данного пылеуловителя состоит в следующем. Запыленный газовый поток в определенном соотношении одновременно подается через входные патрубки в

сепарационные камеры отдельных пылеуловителей и образует в них два потока, закрученных в одну сторону и движущихся навстречу друг другу.

Периферийные потоки газозвеси вследствие тангенциальных вводов закручиваются и по инерции отесняются к стенкам сепарационных камер, двигаясь при этом сверху вниз. Они постепенно всасываются в центральные потоки и полностью переходят в них в области отбойных шайб. Центральные потоки движутся снизу вверх вдоль оси сепарационных камер. Из них частицы пыли под действием центробежных сил перемещаются к стенкам сепарационных камер, захватывая с собой пыль из периферийных потоков, и устремляются в нижнюю часть пылеуловителя. Уловленный материал накапливается в бункере.

Создан экспериментальный стенд и проведен комплекс экспериментов по исследованию гидравлического сопротивления и эффективности улавливания группового вихревого пылеуловителя ГВП-120-2. С помощью трубок Пито-Прандтля измерялось динамическое давление во входных патрубках. Потери давления в аппарате измерялись дифференциальными манометрами [11,16]. При определении эффективности улавливания группового вихревого пылеуловителя запыленный газ подавался в периферийный и центральный патрубки в течение заданного промежутка времени, после чего измерялась масса уловленного продукта. Исследования проводились при общих расходах газа, проходящих через пылеуловитель $V_0=350\div550$ м³/ч и кратности расхода k от 0 до 1.

На рисунке 2а представлена зависимость коэффициента гидравлического сопротивления ζ группового вихревого пылеуловителя ГВП-120-2 от кратности расхода k .

Анализ результатов экспериментов показал, что при кратности расхода $k=0,55\div0,65$ наблюдается наименьший коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta=40\div50$ (рис. 1а). При этом следует отметить, что с изменением кратности расхода k (как влево, так и вправо) относительно данного интервала происходит значительное увеличение коэффициента гидравлического сопротивления ζ .

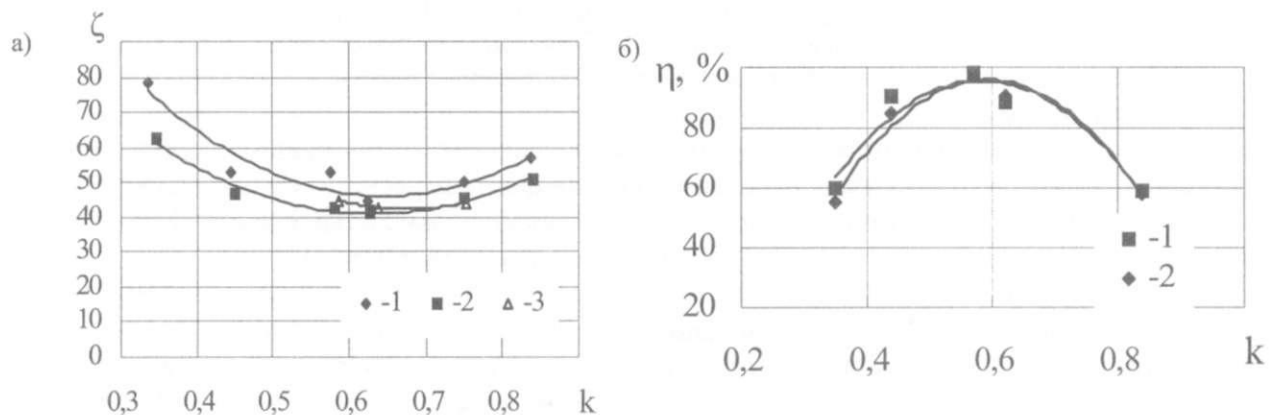


Рисунок 2- Зависимости коэффициента гидравлического сопротивления ζ (а) и эффективности улавливания (б):

а – группового вихревого пылеуловителя ГВП 120-2 от кратности расхода k при общем расходе газа через пылеуловитель: 1 – $V_0=350$ м³/ч, 2 – $V_0=450$ м³/ч, 3 – $V_0=550$ м³/ч.

б – йодированной соли в групповом вихревом пылеуловителе ГВП-120-2 от кратности расхода k при общем расходе газа через пылеуловитель: 1– $V_0=350$ м³/ч; 2– $V_0=450$ м³/ч.

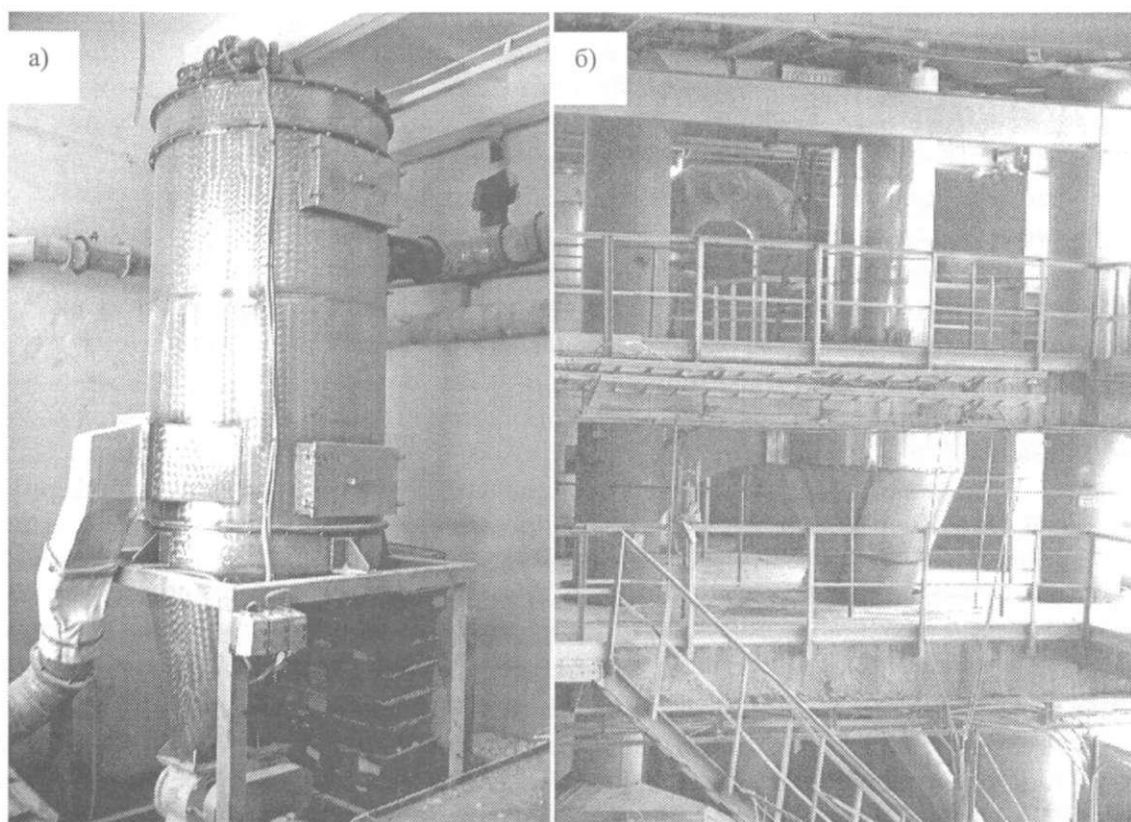


Рисунок 3 - Аппараты, внедренные в промышленности:

- а – комбинированный пылеуловитель КП-350-10 в системе аспирации линии №1 производства зефира на ОАО «Красный Мозырянин» (Наровля);
 б – групповой вихревой пылеуловитель ГВП-750-2 в цехе № 2 на ОАО «Мозырьсоль» после барабанной сушилки

Количество мелкодисперсного материала, подаваемого во входные патрубки при нахождении эффективности улавливания, определялось из расчета нормы запыленности воздуха, идущего на очистку (5 г/м^3) согласно требованиям НИИОГаза и фактического объема газа, проходящего через каждый из патрубков за время опыта [11].

На рисунке 2б представлена зависимость эффективности улавливания йодированной соли η в групповом вихревом пылеуловителе ГВП-120-2 от кратности расхода k .

Максимальная эффективность улавливания частиц йодированной соли в групповом вихревом пылеуловителе составляет $\eta = 98 \div 99\%$ при кратности расхода $k=0,55 \div 0,65$. При таком же интервале кратности коэффициент гидравлического сопротивления достигает минимального значения. Следовательно, интервал $k=0,55 \div 0,65$ является оптимальным для работы группового вихревого пылеуловителя.

На основе теоретических и экспериментальных исследований гидродинамики комбинированного пылеуловителя КП-150-1,36 и группового вихревого пылеуловителя ГВП-120-2 разработаны и внедрены в производство комбинированные пылеуловители КП-350-10 (рис. 3а) (диаметр вихревой камеры центробежного отделения $D_k = 0,35 \text{ м}$ и площадь фильтрования $S_f = 10 \text{ м}^2$, аппарат рассчитан на общий расход газа $V_0 = 2100 \text{ м}^3/\text{ч}$) и КП-400-10 ($D_k = 0,4 \text{ м}$, $S_f = 10 \text{ м}^2$, $V_0 = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$) для улавливания сахарной пудры в системах аспирации линий №1 и №2 производства зефира на ОАО «Красный Мозырянин» (Наровля), а также групповой вихревой пылеуловитель ГВП-750-2 (производительность по запыленному газу $V_0 = 22520 \div 26280 \text{ м}^3/\text{ч}$ при плановой скорости $w_{пл} = 6,5 \div 7 \text{ м/с}$, при этом диаметр каждого из корпусов составляет $0,75 \text{ м}$, а высота сепарационной зоны – $3,1 \text{ м}$, диаметр цилиндрической части $1,8 \text{ м}$, выхлопные трубы подключены к общей спиральной

улитке, раскручивающей выходящий очищенный поток). Пылеуловитель ГВП-750-2 внедрен в цехе № 2 на ОАО «Мозырьсоль» после барабанной сушилки (рис. 3б).

Осуществлен пуск и проведены испытания разработанных пылеуловителей. Получены акты промышленных испытаний и внедрения.

Технические показатели работы промышленного группового вихревого пылеуловителя ГВП-750-2 приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические показатели работы промышленного группового вихревого пылеуловителя ГВП-750-2

| | | |
|---|--|-------------|
| 1 | Производительность V_0 , м ³ /ч | 22520÷26280 |
| 2 | Кратность потоков k | 0,65÷0,71 |
| 3 | Потери давления в аппарате ΔP , Па | 865÷1250 |
| 4 | Концентрация соляной пыли, г/м ³ | |
| | на входе в аппарат | 12,2 |
| | на выходе из аппарата | 1,2 |
| 5 | Эффективность улавливания η , % | 90,2 |

Промышленные испытания показали, что разработанный пылеуловитель ГВП-750-2 обеспечивает высокую эффективность улавливания мелкодисперсной соли и имеет сравнительно небольшое гидравлическое сопротивление (табл. 2).

Групповой вихревой пылеуловитель ГВП-750-2 по сравнению с батарейным циклоном повышает эффективность улавливания мелкодисперсной соли на 25-30% (степень очистки батарейного циклона 60÷65%) и приводит к увеличению общей эффективности двухступенчатой системы очистки запыленного газа после барабанной сушилки (групповой вихревой пылеуловитель ГВП-750-2 – I ступень, скруббер Вентури – II ступень) до 99,5÷99,9% (общая эффективность системы пылеочистки до внедрения группового вихревого пылеуловителя составляла 97,3%). Необходимо также отметить, что применение группового вихревого пылеуловителя ГВП-750-2 в системе аспирации после барабанной сушилки соли повышает общую эффективность очистки газа и уменьшает выбросы мелкодисперсной соляной пыли в окружающую среду. Разработанный пылеуловитель может быть рекомендован для широкого промышленного внедрения в системах пылеочистки большой производительности в различных отраслях пищевой промышленности.

Заключение

Разработаны принципиально новые конструкции комбинированного и группового пылеуловителей. Изготовлены лабораторные модели комбинированного пылеуловителя КП-150-1,36 и группового вихревого пылеуловителя ГВП-120-2. Изучена гидродинамика комбинированного пылеуловителя на основе математического планирования эксперимента. Впервые получены зависимости отношения потери давления к его минимальной величине ($\Delta P_i/\Delta P_{\min}$), коэффициента гидравлического сопротивления (ζ) и эффективности улавливания (η) для камеры центробежного отделения, стадии фильтрования, а также комбинированного пылеуловителя. Проведен сравнительный анализ технических характеристик разработанного комбинированного пылеуловителя КП-150-1,36 с аппаратами других типов. Исследована гидродинамика группового вихревого пылеуловителя ГВП-120-2, предназначенного для очистки большого объема запыленного газа. Найдены зависимости коэффициента гидравлического сопротивления и эффективности улавливания йодированной соли от кратности расхода в разработанном аппарате. Разработаны и внедрены в промышленности комбинированные пылеуловители КП-350-10 и КП-400-10 и групповой вихревой пылеуловитель ГВП-750-2.

Литература

1. Способ очистки газа от твердых частиц: пат. 6280 Рэсп. Беларусь, МПК7 В04С 3/06 / А.В. Акулич; заявитель Могил. гос. ун-т продовольствия.– № а 20001037; заявл. 12.12.2003; опубл. 30.06.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.– 2004. – № 2.– С. 140.
2. Комбинированный пылеуловитель: пат. 8290 Рэсп. Беларусь, МПК7 В01D 46/02, В04С 3/06 / А.В. Акулич, В.М. Лустенков; заявитель Могил. гос. ун-т продовольствия.– № а 20030016; заявл. 08.01.2003; опубл. 30.08.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.– 2006. – №4.– С. 52–53.
3. Комбинированный пылеуловитель: пат. 8539 Рэсп. Беларусь, МПК7 В04С 3/00, В01D 50/00 / А.В. Акулич, В.М. Лустенков; заявитель Могил. гос. ун-т продовольствия.– № а 20031138; заявл. 30.06.2004; опубл. 30.10.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.– 2006. – №5.– С. 83.
4. Разработка комбинированного пылеуловителя: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 26–28 апреля 2003 г. / Могил. гос. ун-т продовольствия; редкол.: Т.С. Хасаншин (отв. ред.) [и др.]– Могилев, 2003.– ч. I.– 336 с.
5. Исследование гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя / А.В. Акулич [и др.] // Инж-физ журн.– 2005.– Т. 78, № 4.– С. 158–162.
6. Исследование гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя: материалы Междунар. науч.-практич. конф., Минск, 28–30 октября 2003 г./ Бел. научн-исслед. и проектн-конструкт. инст-т пищ. прод.; под ред. З.В. Ловкиса.– Минск, 2003.– 128 с.
7. Разработка новой конструкции комбинированного пылеуловителя и определение коэффициента гидравлического сопротивления: материалы II Междунар. науч.–технич. конф., Воронеж, 22–24 сентября 2004 г. / Воронежск. гос. технол. академия; под ред. В.К. Битюкова [и др.]– Воронеж, 2004.– ч. II. – 380 с.
8. Лустенков, В. М. Исследование режимных и конструктивных параметров комбинированного пылеуловителя / В.М. Лустенков, А.В. Акулич, М.А. Нестерук // Техника и технология пищевых производств: материалы V Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 18–20 мая 2005 г. / Могил. гос. ун-т продовольствия; редкол.: Т.С. Хасаншин [и др.]– Могилев, 2005.– С. 56–60.
9. Групповой вихревой пылеуловитель: пат. 8329 Рэсп. Беларусь, МПК7 В04С 3/06, 5/28 / А.В. Акулич, К.В. Шушкевич; заявитель Могил. гос. ун-т продовольствия.– № а 20040006; заявл. 08.01.2004; опубл. 30.08.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.– 2006. – №4.– С. 56.—
10. Повышение эффективности очистки газов в производстве специй: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 26–28 апреля 2003 г. / Могил. гос. ун-т продовольствия; редкол.: Т.С. Хасаншин (отв. ред.) [и др.]– Могилев, 2003.– ч. I.– 336 с.
11. Исследование гидродинамики вихревого пылеуловителя для очистки пылегазовых потоков пищевых производств: сб. науч. работ «НИРС 2002» . / Изд. Центр БГУ; редкол.: А.А. Баешко (отв. ред.) [и др.] – Минск, 2003.– 528 с.
12. Теоретические основы и методы расчета вихревых аппаратов с управляемой гидродинамикой для сушки и сепарации пищевых дисперсных материалов: К 30-летию Могил. гос. ун-та прод-ия: сб. науч. тр. / Изд. Центр БГУ; редкол.: Т.С. Хасаншин (отв. ред.) [и др.] – Минск, 2003.– 188 с.
13. Разработка группового вихревого пылеуловителя: материалы IV Междун. науч. конф. студентов и аспирантов, Могилев, 21–23 апреля 2004 г. / Могил. гос. ун-т продовольствия; редкол.: Т.С. Хасаншин (отв. ред.) [и др.] – Могилев, 2004.– 352 с.
14. Разработка группового вихревого пылеуловителя для системы аспирации после барабанных сушилок на ОАО «Мозырьсоль»: материалы V Междунар. науч.–техн. конф., 18–20 мая 2005 г. / Могил. гос. ун-т продовольствия; редкол.: Т.С. Хасаншин (отв. ред.) [и др.]– Могилев, 2005.– 338 с.
15. Разработка и исследование группового вихревого пылеуловителя для очистки газов в химической и текстильной промышленности: материалы Всероссийск. науч.–техн. конф. Текстиль 2004, Москва, 24 ноября 2004 г. / Московск. гос. технич. ун-т им. А.Н. Косыгина; под ред. К.И. Кобракова [и др.]– М., 2004.– 310с.
16. Исследование эффективности улавливания группового вихревого пылеуловителя: материалы II Междунар. науч.–технич. конф., Воронеж, 22–24 сентября 2004 г. / Воронежск. гос. технол. академия; под ред. В.К. Битюкова [и др.]– Воронеж, 2004.– ч. II. – 380 с.

Поступила в редакцию 13.09.2006