

Циклоны высокой эффективности для очистки пылегазовых выбросов

Е.В. Романюк, доцент, канд. техн. наук

Д.В. Каргашилов, начальник кафедры

А.В. Некрасов, доцент, канд. техн. наук

ФГБОУ ВПО «Воронежский институт государственной противопожарной службы» МЧС России

e-mail: scercso@mail.ru

Ключевые слова:

циклон,
пылеулавливание,
пыль,
очистка.

В статье рассмотрена новая конструкция циклона и результаты его испытаний, подтверждающие повышение эффективность очистки воздуха и снижение гидравлического сопротивления. Дано описание работы предложенного циклона и методика расчета его геометрических параметров.

1. Введение

Одним из серьезных недостатков циклонов является их низкая эффективность при улавливании мелкодисперсной пыли. Поэтому актуальной задачей является повышение эффективности работы циклона. В рамках данной задачи было предложено и запатентовано устройство, разработанное на основе традиционного циклона.

Конструктивной особенностью нового циклона является наличие конической вставки, снабженной щелевыми улавливающими отверстиями, общий вид которой представлен на рис. 1 [1].

2. Экспериментальные исследования

Конструкция была апробирована в лабораторных и производственных условиях. Перепад давлений в исследуемом аппарате определяли как разность давлений во входном и выходном воздуховоде и измеряли с помощью датчиков давления 415-ДИВ, массовую концентрацию пыли для определения эффективности работы определяли прямым методом с применением заборной трубки с внешней фильтрацией отбираемой пробы пылегазового потока. Анализ дисперсного состава пыли осуществляли с помощью ступенчатого импактора НИИОГАЗ в сочетании с микроскопическим анализом. Скорость движения и расход пылегазового потока измеряли с помощью термоанемометра КИМО VT 100.

В результате экспериментальных исследований, проведенных с пылью, образующейся при производстве ржаной муки, были получены зависимости

эффективности циклона от скорости пылегазового потока на входе в циклон (а) и общего перепада давлений в зависимости от скорости пылегазового потока (б), которые представлены на рис. 2.

В экспериментах установлено снижение перепада давлений в циклоне, что кажется парадоксальным, так как в полости циклона установлено дополнительное препятствие в виде конической вставки. Однако явление снижения общего перепада давления объяснимо. Предшествующие исследования в области аэродинамики потоков в циклонных аппаратах [2, 3] это подтверждают. Для объяснения

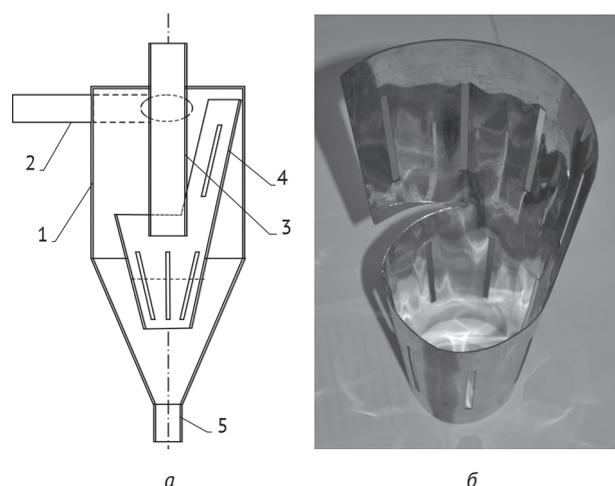


Рис. 1. Схема разработанного циклона:
а – схема циклона: 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выхлопная труба; 4 – вставка; 5 – патрубок для удаления пыли;
б – общий вид конической вставки

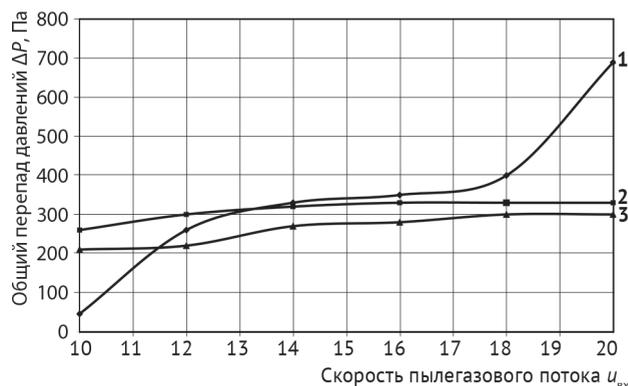
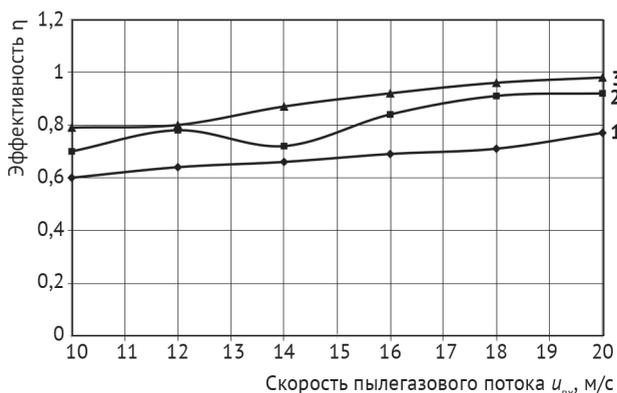


Рис. 2. Графические зависимости:

а) эффективности от скорости на входе в циклон $\eta = f(u_{вх})$; б) общего перепада давлений от скорости на входе в циклон $\Delta P = f(u_{вх})$; 1 – обычный циклон; 2 – циклон с конической вставкой; 3 – циклон с конической вставкой с щелевыми улавливающими отверстиями

были предложены некоторые схемы движения потоков внутри циклона.

Классический противоточный циклон работает следующим образом (рис. 3, а). Пылегазовая смесь 1 по входному патрубку поступает тангенциально в кольцевое пространство между корпусом циклона и выходным патрубком, образуя внешний сильно запыленный поток из частиц 2 пыли, отбрасываемых к стенке циклона центробежной силой, а затем опускающихся вниз по спирали к пылевыгрузочному патрубку. Там воздушный поток меняет направление на противоположное и поднимается в виде внутреннего закрученного вихря 3 меньшего диаметра, захватывая более мелкие, не успевшие дойти до стенки циклона частицы пыли из внешнего потока, в выходной патрубок б циклона (так называемый «радиальный» или «вторичный» унос пыли). Эффективность осаждения пыли в циклоне при этом снижается.

За счет того, что один поток движется вниз, а другой вверх, возникает область их соприкосновения 4, которая выступает как область захвата мелких частиц пыли и как «область торможения», которая повышает общий перепад давления (гидродинамическое сопротивление) аппарата. Размер данной области зависит от геометрических параметров аппарата. Снижения гидродинамического сопротивления в циклонах достигается применением организатора потока (перфорированная камера), который разделяет потоки, движущиеся вниз и вверх.

Кроме того существует и другая схема движения вторичных потоков, представленная на рис. 3, б [2], которая также влияет на аэродинамическую картину внутри циклона, но в этом случае организатор потока не захватывает область ввода пылегазового потока в циклон [3]. Для исключения образования

кольцевых вертикальных потоков требуются конструктивные решения, отличные от представленных ранее [2, 3].

Необходимую конструкцию имеет коническая вставка с щелевыми улавливающими отверстиями, в частности с вырезом определенного размера, размещенная таким образом, что обеспечивает разделение потоков, начиная с области ввода запыленного газа в циклон (см. рис. 1).

Как показывают опыты, коническая вставка с щелевыми улавливающими отверстиями обеспечивает не только снижение гидравлического сопротивления в циклоне, но и повышает эффективность улавлива-

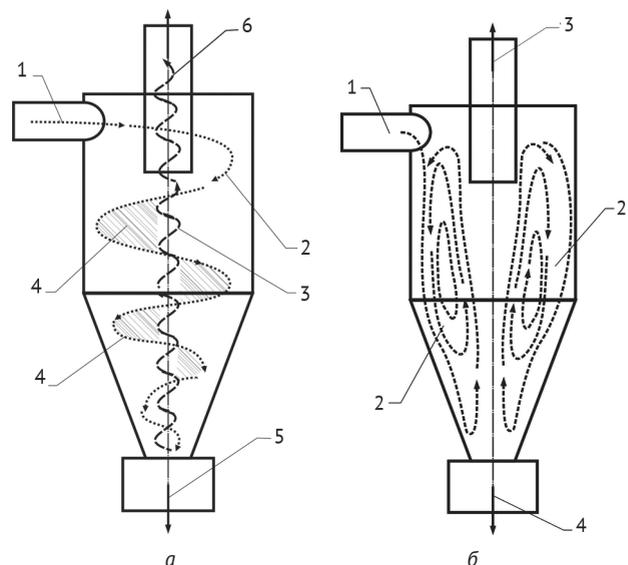


Рис. 3. Схема распределения потоков в циклоне:

а: 1 – запыленный пылегазовый поток; 2 – основной внешний закручивающийся вихрь; 3 – внутренний закручивающийся вихрь; 4 – зоны соприкосновения вихрей; 5 – осажденная пыль, 6 – выходной патрубок;
б: 1 – входной патрубок; 2 – кольцевые вертикальные потоки; 3 – выходной патрубок; 4 – выход осажденной пыли

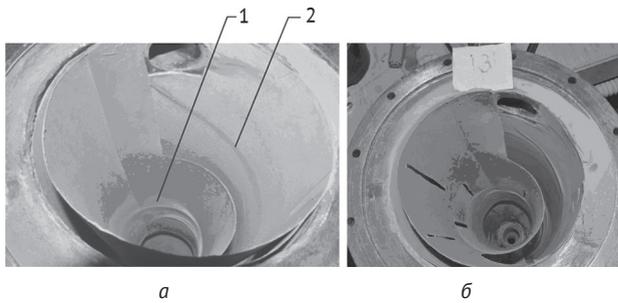


Рис. 4. Поток пыли внутри циклона:
а – коническая вставка без щелей: 1 – пыль в периферийном сильно запыленном потоке, 2 – пыль вне сильно запыленного потока;
б – коническая вставка с щелевыми отверстиями

ния мелкодисперсной пыли. Это достигается за счет следующего. Частицы пыли внешнего сильно запыленного потока, коснувшись стенки циклона по спиральной траектории, направляются к патрубку выгрузки, минуя коническую вставку. Частицы пыли, движущиеся вне сильно запыленного периферийного потока, достигая поверхности вставки, улавливаются щелевыми улавливающими отверстиями и также движутся вниз к патрубку.

Этот механизм иллюстрируется на рис. 4.

Таким образом, можно заключить, что предложенное конструктивное решение циклона (рис. 1, а) не только способствует значительному повышению эффективности в циклоне при невысоких материальных затратах на его усовершенствование, но и снижает его гидравлическое сопротивление.

3. Расчет циклона

Исходными данными для расчета циклона с конической вставкой являются его диаметр D , высота его цилиндрической части H , геометрические критерии Γ' , Γ . Результатами расчета являются верхний диаметр вставки D' , нижний диаметр вставки D'' и высота конической вставки $H_{вст.}$. Геометрические критерии представляют собой безразмерные отношение

$$\Gamma = \frac{S_{щ}}{S_{вст.}} \cdot 1000, \quad (1)$$

$$\Gamma' = S_{вст.} / S_{ц}, \quad (2)$$

где: $S_{щ}$ — площадь щелевых отверстий вставки, m^2 ; $S_{вст.}$ — площадь конусной вставки циклона, m^2 ; $S_{ц}$ — внутренняя площадь циклона, m^2 .

Площадь цилиндрической части циклона (с учетом того, что высота цилиндрической части циклона, например, БЦ равна половине его высоты):

$$S' = 2\pi \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{H}{2}. \quad (3)$$

Площадь вставки с учетом экспериментально найденного критерия Γ' ($\Gamma' = 0,496$)

$$S_{вст.} = S' \times \Gamma', \quad (4)$$

где $S_{вст.}$ — площадь конусной вставки, m^2 .

Высоту вставки находим по формуле

$$H_{вст.} = 1,01 H/2. \quad (5)$$

Значение верхнего диаметра вставки рассчитываем по формуле, используя эмпирическое отношение диаметра вставки к диаметру циклона

$$D' = 0,83D. \quad (6)$$

Площадь конусной вставки можно рассчитать по формуле

$$S_{к. вст.} = \left(\frac{2\pi \frac{D'}{2} + 2\pi \frac{D''}{2}}{2} \right) \cdot H_{вст.}, \quad (7)$$

$$S_{к. вст.} = \left(\frac{\pi(D' + D'')}{2} \right) \cdot H_{вст.}. \quad (8)$$

Из выражения (8) получаем формулу для расчета нижнего диаметра конусной вставки

$$D'' = \frac{2S_{к. вст.}}{\pi \cdot H_{вст.}} - D'. \quad (9)$$

Размер щелевых отверстий определяем, пользуясь критерием Γ , значение которого экспериментально определяется для исследуемой пыли (0,079). В эксперименте изменяли размер щелей. При получении наилучших результатов фиксировались размеры щелей, рассчитывались их площадь и ширина и соотносились с площадью конусной вставки. Таким образом, числовые значения Γ и Γ' определяли путем экспериментального подбора.

Количество k щелевых отверстий постоянная величина и равно 11. Это количество было также определено экспериментально в лабораторных условиях методом подбора и дало наибольшую эффективность для исследуемых видов пыли.

Находим площадь одного щелевого отверстия

$$S_{щ} = (S_{вст.} \times \Gamma) / k. \quad (10)$$

Параметры щелевых отверстий находим через отношение ширины щелевого отверстия l к верхнему диаметру D' конусной вставки.

Методы и средства обеспечения безопасности Methods and Means of Safety

Для экспериментального циклона отношение ширины щелевого отверстия к верхнему диаметру конусной вставки составило $120/0,004 = 30000$. Полученные экспериментальные данные позволяют считать это соотношение оптимальным, поэтому оно используется в методике расчетов.

Пользуясь полученным числовым значением, находим ширину щелевых отверстий вставки l' для рассматриваемого промышленного циклона.

$$l' = 30\,000 D'. \quad (11)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на изобретение № 2480294 Российская Федерация, МПК В04С5/107 (2006.01). Устройство для пылеулавливания / Гавриленков А.М., Каргашилов Д.В., Некрасов А.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ВГТА; заявл. 17.08.2011; опубл. 27.04.2013; Бюл. № 12.
2. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами: монография / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. — 258 с.
3. Патент на изобретение № 2006291 Российская Федерация, МПК В04С5/107 (2006.01). Циклон / Беляева Н.Ф., Сажин Б.С., Помазан В.Н., Хатминская Л.А., Репневский Н.М.; заявитель и патентообладатель Институт химической технологии и промышленной экологии; заявка 4940917/26; опубл. 30.01.1994.

High Efficiency Cyclone Filters for Decontamination of Dust and Gas Emissions

E.V. Romanyuk, Associate Professor, Ph.D. in Technical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Voronezh State Fire Department Institute under Ministry of Civil Defense and Emergency Response

D.V. Kargashilov, Head of the Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Voronezh State Fire Department Institute under Ministry of Civil Defense and Emergency Response

A.V. Nekrasov, Associate professor, Ph.D. in Technical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Voronezh State Fire Department Institute under Ministry of Civil Defense and Emergency Response

The article studies the new construction of cyclone and the results of its testing, which confirm higher efficiency of air decontamination and lower hydraulic resistance. Operation process of the cyclone and methods of its geometric parameters' calculation are provided.

Keywords: cyclone, dust capture, dust, decontamination.

Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года

17 июля 2017 г. на сайте Минприроды России для общественного обсуждения опубликован проект Стратегии экологической безопасности РФ на период до 2025 г. Разработка Стратегии велась во исполнение решения, принятого на заседании Совета безопасности РФ и поручения Правительства РФ. Заседание Совета безопасности состоялось 20 ноября 2013 г. под председательством Президента РФ В.В. Путина и было посвящено вопросам обеспечения национальной безопасности в сфере охраны окружающей среды и природопользования.

«Нам важно понимать, как будет меняться климат, какие здесь есть риски. Нужны научно обоснованные прогнозы состояния природных ресурсов, перспективы развития экологической ситуации в России, вероят-

ные трансформации экосистем в результате природных и техногенных воздействий, причем горизонт прогнозов должен составлять не менее 10–15 лет, желательно и больше, конечно, насколько это возможно», — сказал В.В. Путин на заседании Совета безопасности. Президент заявил о необходимости поднять на новый уровень фундаментальные и научно-прикладные исследования в области экологии.

В Стратегии даны показатели, характеризующие оценку состояния, в котором сегодня находится экологическая безопасность, обозначены угрозы, как внутренние, так и внешние, определены приоритеты обеспечения экологической безопасности и меры, которые необходимо осуществить.