СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСТКИ ГАЗА ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ

Муминов Рахимжон Рустамович
докторант, Бухарский государственный технический университет.
Абдурахманов Олим Рустамович
д.т.н., профессор Бухарский государственный технический университет
e-mail: azi100@mail.ru тел: +99891 837 31 55.
Сарсенбаев Нурлан Садуакасович
к.т.н., профессор Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатбаева

Аннотация

В статье рассмотрены основные методы повышения эффективности циклонирования смесей газа и твердых частиц, разработан метод интенсификации работы батарейного циклона с концентратором на основе моделирования. Приведён анализ влияния геометрических параметров, скорости и структуры газового потока, а также дополнительных устройств закручивания на эффективность очистки. Представлены базовые формулы, используемые для оценки критического размера частиц и гидродинамических характеристик циклона. Сформулированы типовые подходы к повышению эффективности улавливания мелкодисперсных фракций.

Ключевые слова: батарейный циклон, интенсификация, моделирование, фракционная эффективность, промышленная экология.

Введение

В настоящее время существуют множества механических способов улавливания взвешенных частиц из состава газа

Для удаления взвешенных частиц из различных по составу газовых смесей применяются такие установки, действие которых основаны на методах очистки газов от взвешенных частиц.

Эффективность газоочистки механической сухой способа очистки достаточно высока, а затраты на оборудование невелики. Можно привести ряд основных методов сухой очистки. Это гравитационный, при котором осаждение взвешенных частиц происходить в осадительных камерах и центробежный, при принудительном закручивании газового потока в специальных устройствах (циклоны), либо вращение самого устройства очистки (ротоклоны). Далее фильтрацией очисткой газов от твердых частиц можно произвести тонкую очистку. Сухие способы механической очистки не в состоянии произвести наивысшее улавливание тонких частиц. Но эту проблему можно частично решать с установкой дополнительных концентраторов.

ISSN 3030-3907

Скорость отстаивания пропорциональна, при прочих равных условиях, разности плотностей частиц $\rho_{тв}$ и газа $\rho_г$. Степень очистки газа в циклонах зависит от значения фактора разделения. Из этого выражения видно, что степень очистки газа в циклонах может быть повышена либо путем уменьшения радиуса вращения потока запыленного газа, либо путем увеличения скорости газа. Однако повышение скорости газа вызывает значительное возрастание гидравлического сопротивления циклона и увеличение турбулентности газового потока, ухудшающей очистку газа от взвешенных частиц.

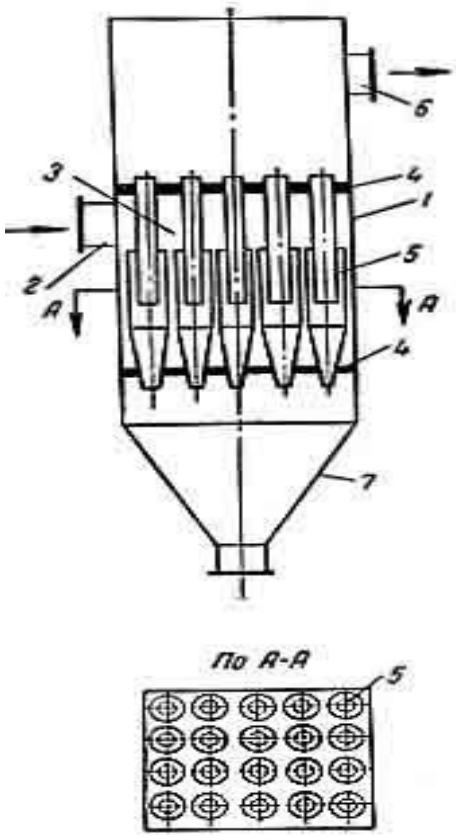


Рис. 1. Батарейный циклон: 1- корпус циклона; 2 – входной патрубок; 3- газораспределительная камера; 4 – трубные решетки; 5- циклонные элементы, 6 – выходной патрубок для очищенного газа; 7 – коническое днище (бункер).

Уменьшение радиуса циклона приводит к снижению его производительности. Поэтому часто для очистки больших количеств неоднородных газов вместо циклона большого диаметра применяют несколько циклонных элементов значительно меньшего диаметра в виде батарейных циклонов (рис. 1). Он состоящий из параллельно работающих циклонных элементов, смонтированных в общем корпусе *1*. Газ с взвешенными частицами поступает через входной патрубок *2* попадает в газораспределительную камеру *3,* ограниченную трубными решетками *4,* в которых герметично закреплены циклонные элементы *5*. Газ равномерно распределяется по отдельным элементам, действие которых основано на том же принципе, что и работа обычных циклонов. Очищенный газ выходит из элементов в общую камеру и удаляется через патрубок *6*. Взвешенные частицы собираются в коническом днище (бункере) 7.

Устройство циклонных элементов показано на рис. 2. Газ поступает в элементы не тангенциально, а сверху через кольцевое пространство между корпусом *1* и выхлопной трубой *2*. В кольцевом зазоре установлено закручивающее лопастное устройство *3* в виде «винта» (рис. 2 а), имеющего две лопасти, наклоненные под углом 25°, или «розетки» (рис. 2 б) с восемью лопатками, расположенными под углом 25 или 30°. При помощи такого устройства обеспечивается вращение газового потока. Пыль из элемента

ISSN 3030-3907

ссыпается через пылеотводящий патрубок *4* в общую частицасборную камеру аппарата.

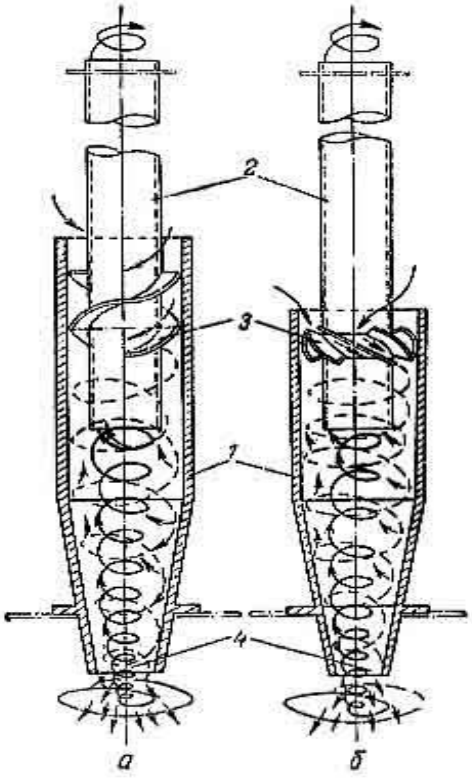


Рис. 2. Элементы батарейного циклона: 1- корпус циклона; 2 – входной патрубок; 3- газораспределительная камера; 4 – трубные решетки; 5- циклонные элементы, 6 – выходной патрубок для очищенного газа; 7 – коническое днище (бункер).

Имеется ряд конструкций батарейных циклонов, отличающихся формой корпуса элементов (например, с элементами цилиндрической формы), их расположением в пространстве (горизонтальные элементы) и способами сообщения газу вращательного движения. Так, в прямоточных батарейных циклонах частицы пыли отбрасываются с помощью закручивающего устройства 1, расположенного по оси входной трубы *2,* к ее внутренней поверхности и удаляются вместе с небольшой частью газа (5—10%) через кольцевую щель *3* в пылесборную камеру, а очищенный газ выводится через выхлопную трубу *4.* Такие батарейные циклоны более компактны и обладают меньшим гидравлическим сопротивлением, но они менее эффективны, чем обычные батарейные циклоны.

Степень очистки газа в батарейных циклонах несколько отличается от степени очистки его в обычных циклонах (см. рис. 3) и составляет 65—85% (для частиц диаметром 5 *мкм),* 85—90% (для частиц диаметром 10 *мкм)* и 90—95% (для частиц диаметром 20 *мкм).*

Для нормальной работы батарейного циклона необходимо, чтобы все его элементы имели одинаковые размеры, а очищаемый газ — равномерно распределялся между элементами. В этих условиях гидравлическое сопротивление элементов будет одинаковым.

Циклоны всех видов отличаются простотой конструкции и могут быть использованы для очистки химически активных газов при высоких температурах. По сравнению с аппаратами, в которых отделение взвесей осуществляется под действием сил тяжести или инерционных сил, циклоны обеспечивают более высокую степень очистки газа, более компактны и

ISSN 3030-3907

требуют меньших капитальных затрат. В циклонах рекомендуется улавливать частицы пыли размером около 10 *мкм.*

Батарейные циклоны являются основным оборудованием для очистки больших потоков газов, содержащих взвешенные частицы. Однако их классическая компоновка страдает от неравномерности распределения потоков, что снижает эффективность очистки. Математическое обоснование интенсификации процесса за счет изменения внутренней аэродинамики аппарата.

Для моделирования турбулентного закрученного потока в программном комплексе использовалась система уравнений Навье-Стокса, замкнутая моделью переноса напряжений Рейнольдса. Уравнение движения частицы

$$du_p/dt=F_D(u-u_p)+(g(\rho_p-\rho))\rho_p+F_x$$

где F_D — сила сопротивления, u - скорость газа, u_p - скорость частицы.

Свойства газовой смеси: взвешенные частицы ρ=2450кг/м^3, фракционный состав 1–20 мкм. Анализ полей скоростей при модернизации и результатов моделирования показывают, что при моделировании базового элемента выявлена зона высокого градиента давления, вытягивающий частицы из конической части.

Анализ скорости и распределения потоков выявляет ряд проблем. В частности, это широко распространенный для всех батарейных циклонов проблема, это увеличение степени очисть газа от мелкой фракции взвешенных частиц. Моделирование показало, что установка в внутренней части циклона концентратора.

Таблица.

Фракционная эффективность существующего и предлагаемого батарейного циклона

Фракция частиц, мкм	Эффективность (существ.), %	Эффективность (предл.), %
2,5	41,7	57,9
5,0	67,9	80,8
10,0	90,7	96,3

Интенсификация процесса обеспечивается следующим фактором. Увеличение степени очистки достигается установкой в цилиндрической части дополнительного концентратора. Она способствует увеличению вращательную скорость внутреннего слоя газового потока, в которой находятся основная часть мелкой фракции взвешенных частиц.

Найдена точка оптимума, где дальнейшее увеличение угла установки концентратора ведет к разности давлений в обоих камерах. Для модернизированного циклона этот порог смещен в сторону увеличения угла 4-5 градусов относительно вазовой.

Математическое моделирование позволило исследовать и подтвердить, что интенсификация пылеулавливания в батарейном циклоне должна

ISSN 3030-3907

базироваться на управлении структурой и параметрами газового потока. Предложенные изменения (установка концентратора) позволяет повысить степень очистки газов от частиц около 5 мкм до уровня 96% и выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Menter, F. R. Best Practice: CFD Simulation of Vortex Flows. — Springer, 2024.*

2. *Азаров В. Н. Эволюция систем пылеочистки. — М.: АСВ, 2023.*

3. *Sutherland, K. Filters and Filtration Handbook. 7th Edition. — Elsevier, 2025.*

ISSN 3030-3907