

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ СУХОЙ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

А.В. Ченцов, Б.Н. Барсуков

While the problem of gas treatment from dust particles is generally solved, one cannot say the same about treatment from noxious gas components. Year by year, more such components are charged into atmosphere, which worsens environmental situation

Проблема очистки газовых выбросов с каждым годом становится острее. Рост количества и единичных мощностей предприятий, ухудшение качества технологического сырья приводит к тому, что с каждым годом все больше вредных компонентов, как пылевидных, так и газообразных выбрасывается в атмосферу. И если сегодня проблема очистки газа от пылевых частиц в целом решается, то об очистке от вредных газовых компонентов этого сказать нельзя.

Существующие методы уменьшения количества вредных газообразных выбросов чрезвычайно дороги. Сегодня за рубежом применяют два способа:

1. Подавление вредных газовых компонентов в стадии технологического процесса, например: управление процессом сжигания топлива. Это конструкторские, режимные изменения технологического процесса.

2. Удаление вредных газовых компонентов из общего потока после завершения основного технологического процесса, например: пропускание газа через нейтрализатор, который связывает вредные компоненты.

Градиентная и инерционно-вакуумная сверхтонкая очистка газа осуществляется при состоянии газа, которое, до настоящего времени в достаточной степени не изучено и не описано в научной и технической литературе. Это состояние газа можно назвать «отрицательно-напряженным», другое более точ-

ное название - состояние газа при отрицательном градиенте давления.

Или попросту газ, находящийся в «растянутом» состоянии.

На сегодняшний день известны три состояния газа:

1. Нормальное состояние ($P=0$);
2. Сжатое состояние ($P>0$);
3. Разреженное состояние ($P<0$).

Эти три состояния газа проиллюстрированы на рисунке 1.

- положению «а» поршня соответствует нормальное состояние газа ($P=0$);

- положению «б» - сжатое состояние газа ($P>0$);

- положению «в» - разреженное состояние газа ($P<0$).

Если теперь начать перемещать поршень из положения «а» в положение «в», то в момент его перемещения газ находится в состоянии, которое названо «отрицательно-напряженным». Чем выше скорость перемещения поршня, т.е. по существу ве-

личина $\left(-\frac{dP}{dt}\right)$, тем больше величина отрицательного градиента давления в газе (σ).

В этом состоянии газ обладает рядом особенностей, не укладывающихся в традиционную молекулярно-кинетическую теорию.

Основные математические зависимости определяющие такое состояние газа приведены в монографии [2].

В работе на математическом аппарате инвариант Римана показана возможность опрокидывания волны и, главное, возможность возникновения разрыва газового потока.

Такой поток условно можно назвать «ИЗОН-течением».

«ИЗОН» аббревиатура получаемая из первых букв слова: Интенсивно Закрученное Отрицательно Напряженное течение.

Эффекты, наблюдаемые при таком течении газа:

1. Газовый поток, аксиально-находящийся при отрицательном градиенте давления, получая дополнительное ускорение за счёт конструктивных особенностей при сохранении своей ламинарной структуры преобразует собственную потенциальную энергию в закручивающее состояние.

2. Если две пересекающиеся струи находятся в «Отрицательно Напряженном состоянии» и транспортируют твердые частицы, то после пересечения

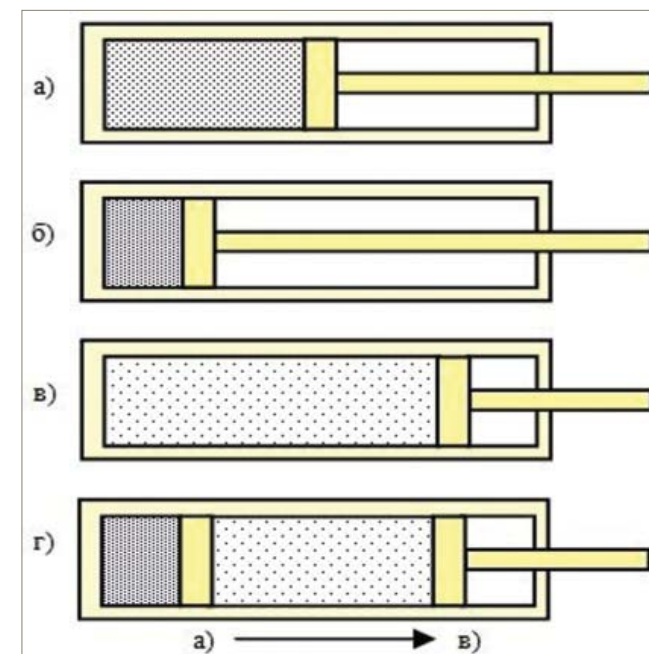


Рис. 1. Три состояния газа и при отрицательном градиенте давления

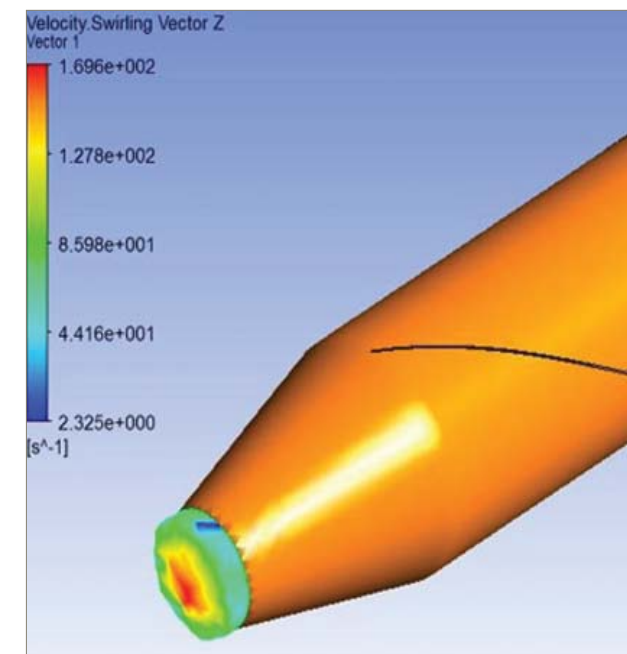


Рис. 2. Моделирование скорости потока в ANSYS CFX

струй частицы оказываются в той струе, скорость которой выше.

3. Если скоростная газовая струя граничит с неподвижным газовым объемом через узкую щель, то этот объем, обладая большим разрежением является «насосом» для взвешенных частиц.

Теоретические предпосылки подтверждаются моделированием газового потока в программе ANSYS CFX. Моделирование проводилось в Омском Государственном Техническом Университете.

На рис. 2 представлены результаты моделирования, показывающие образование устойчивого центрального вихря в сепараторе.

Три описанные эффекта лежат в основе принципа действия градиентной и инерционно-вакуумной системы сверхтонкой очистки газа.

Градиентный способ очистки.

На рис. 3 приведена схема градиентного сепаратора. Газовый поток, представляющий со-

бой смесь газов, подается во входной конфузор 1, содержащий дополнительный импульс закручивания лопастным завихрителем 2.

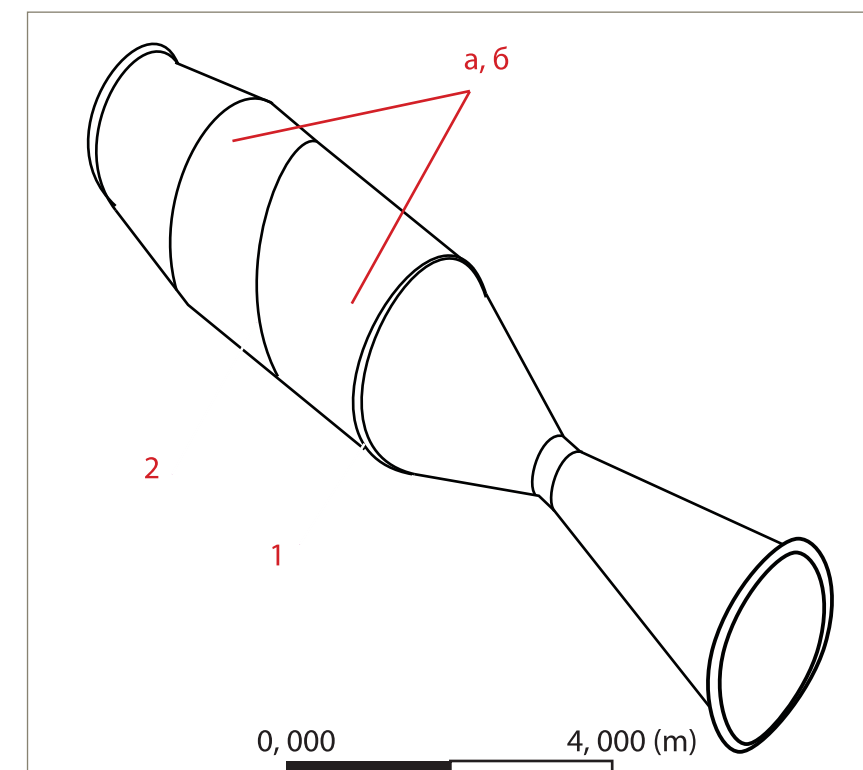


Рис. 3. Схема Градиентного сепаратора

Андрей Владимирович Ченцов, директор, Борис Николаевич Барсуков, к.т.н., технический директор, НПО «Центр альтернативных технологий», г. Омск

В конфузоре I газовый поток ускоряют, закручивают, сохраняя ламинарную структуру потока. Ламинарное движение обеспечивают тем, что монотонно увеличивают тангенциальное и осевое ускорение за счет соблюдения в конфузоре I условий:

На участке «а»: $\frac{dF_i}{dl_i} = const_1$,
на участке «б»: $\frac{dF_i}{dl_i} = const_2$,

где F – площадь сечения канала;

dF – приращение по площади;

l – длина участка;

dl – приращение по длине.

Указанные константы определяются экспериментально, в зависимости от свойств газового потока (температуры, вязкости, плотности).

Далее газовый поток попадает в конфузор 3, где ускорение продолжают при условии $\frac{dF_i}{dl_i} = const_3$. Третья константа определяется также экспериментально. Из конфузора 3 газовый поток поступает в закручивающее сопло 4, где ему сообщают новый импульс закручивания.

Геометрия сопла рассчитывается по формуле:

$$D_i = \sqrt{\frac{D_{i-1}^2 + \frac{\Delta l_i \cdot c_0 \cdot D_0^2}{(c_0^2 - 2a_0 l_i - l_i^2 \cdot k)}}{(a_0 + k l_i)}}$$

где D_i – диаметр i-го сечения сопла;

D_{i-1} – разность расстояний между i-м сечением и (i-1)-м;

c_0 – начальная скорость газа на входе в сопло;

a_0 – ускорение потока на входе в сопло;

$k = \frac{d_0}{l}$ – удельное приращение ускорения на единицу длины сопла.

На выходе диффузора 4 газовый поток тормозят, что обусловлено геометрией закручивающего сопла. Осуществив первые 3 стадии ускорения потока, его закручивание с сохранением ламинарной структуры, поток по-

дается в сепарационный канал известного устройства согласно авторскому свидетельству № 1637099, где поток продолжают ускорять в параболическом конфузоре 5, затем поток закручивают в сопле 6.

В горловине сепаратора число оборотов газового потока лежит в пределах до 200 оборотов/секунда (экспериментальные данные и расчетные данные, полученные в программе ANSYS CFX).

Распределение скоростей по выходному сечению сепаратора

Газодинамическое течение, формирующееся в градиентном сепараторе, названо интенсивно закрученное с отрицательно-напряжёнными межмолекулярными связями - «ИЗОН течение». Это течение обладает рядом особенностей:

1. При таком течении становится затрудненным тепловое (хаотическое) движение молекул газа;

2. Транспортируемые потоком взвешенные частицы концентрируются в центральной зоне канала в виде пылевого «шнура», что обусловлено засасыванием пыли в разряженное ядро вращающегося газового объёма.

Причём всегда соблюдается условие: чем меньше размер частиц, тем они ближе к центру. В первую очередь, аппарат забирает именно мелкие частицы, причём в таком диапазоне размеров, что появляется возможность тончайшей очистки газа не только от диспергированных частиц, но и от аэрозолей.

3. «Тяжёлые» газовые компоненты (сернистый ангидрид, двуокись углерода и т.д.) за счет распределения по молекулярной массе и плотностям распределяются в сечении закрученного ка-

нала и собираются в периферийной зоне.

Следует оговориться: аппарат разделяет газовые смеси, как например, в жидкости масло и воду. Гомогенные газовые смеси разделить на компоненты, например, воздух на его составляющие, аппарат не может (как невозможно разделение воды и спирта). Экспериментально установлено, что такие компоненты газа, как: фтор, сернистый ангидрид, хлор, двуокись азота, двуокись углерода – вывести можно с такой эффективностью, что измеряющие приборы не улавливают наличие этих компонентов на выходе из градиентного сепаратора.

4. Резко повышается теплопроводность газа. Так если для воздуха в нормальном состоянии теплопроводность составляет 0,030–0,035 Вт/м°K, то для воздуха в отрицательно-напряжённом состоянии 340-420 Вт/м°K (экспериментальные данные);

5. Также повышается коэффициент теплоотдачи от газа к стенке. Если для плоско - параллельного течения коэффициент теплоотдачи лежит в пределах 20-60 Вт/м² °K, то для «ИЗОН – течения» в градиентном сепараторе коэффициент теплоотдачи составляет 2500 - 3000 Вт/м² °K; (экспериментальные данные)

6. При «ИЗОН – течении» становится более ярко - выраженным (по сравнению с обычными закрученными течениями) эффект Ранка, т.е. эффект перераспределения температуры по сечению канала, когда в центре канала температура падает, на периферии увеличивается.

Одновременно пылегазовую смесь отсасывают через пылеотборный патрубок 7 по оси канала, выравнивая этой операцией

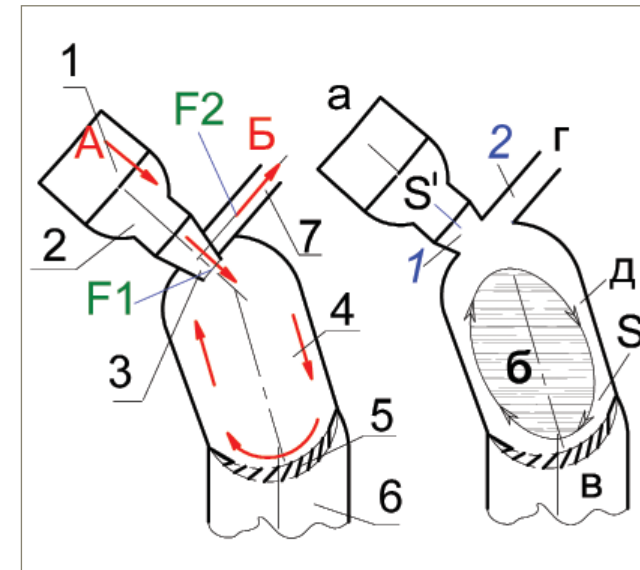


Рис. 4. Схема модели инерционно-вакуумного пылеуловителя

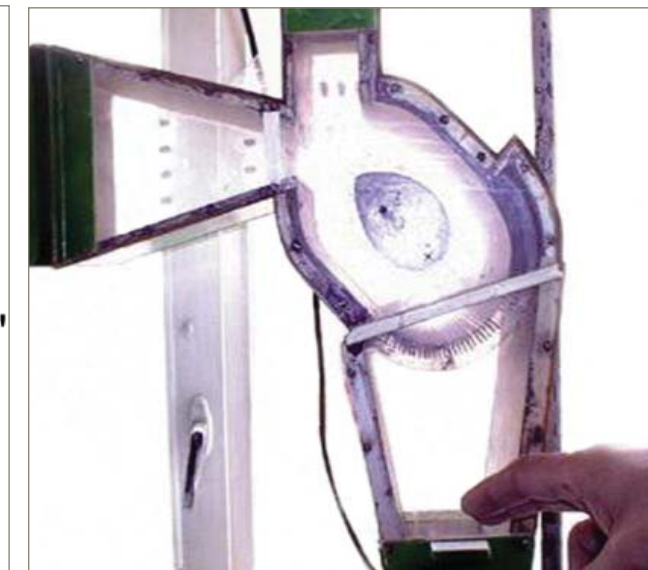


Рис. 5. Лабораторная установка инерционно-вакуумного пылеуловителя

скорости и ускорения потока по сечению канала, что способствует предотвращению турбулизации. Газы, обладающие большой плотностью выводятся через периферийно-радиальный отсос.

Инерционно-вакуумная очистка В предлагаемой работе представлены результаты исследования степени улавливания золы экибастузского угля в инерционно-вакуумном пылеуловителе, схема которого представлена на рис. 4.

Очищаемый газ подается в разгонное сопло (стрелка А на рис. 4). При выходе из разгонного сопла через входной патрубок в силу его сужения скорость потока частиц газа возрастает, на этом участке газ растягивается и переходит в отрицательно-напряженное состояние. Запыленный поток, проходя через сечение (1), имеет скорость больше чем поток в сечении (2). Но большую скорость имеют и частицы в этом потоке, а, значит, и большую кинетическую энергию, которая позволяет им преодолеть сечение (2) по касательной и устремиться вдоль

образующей д. Две струи газа, находящиеся в отрицательно-напряженном состоянии, пересекаются без взаимодействия, т.к. выходная струя пронизывает

входную. Взвешенные частицы, несомые выходной струей, останутся во входной струе: взвеси из двух пересекающихся струй будут захвачены той, которая



Рис. 6. Фото промышленной установки инерционно-вакуумного пылеуловителя

Таблица 1. Зависимость КПД инерционно-вакуумной установки от разряжения

P, мбар	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35
КПД	91	92	92,5	94	95	96	96,5	99

движется быстрее, в данном случае – это входная струя (второй эффект). Скорость входной струи больше, т.к. площадь выходного сечения разгонного сопла «F1» меньше сечения «F2» переходного патрубка (см. рис. 4).

Таким образом, частицы могут войти в канал, а выйти – нет.

При движении двухфазного газового потока по объему поворотной камеры он контактирует с осадительной решеткой (поз. 5 на рис. 4), за которой находится объем относительно неподвижного газа. Частицы из скоростного потока переходят в этот объем и осаждаются в бункере (третий эффект). Но осаждаются не все частицы. Часть их идет на выход из аппарата и здесь, попадая под влияние входной струи, вновь направляются в поворотную камеру системы. Возникает аэродинамическая ловушка – частицы имеют возможность попасть в поворотную камеру аппарата, но не могут выйти из нее и, в конце концов, полностью осаждаются в бункере.

Для выходящего из поворотной камеры газа входная струя является фильтром, состоящим из слоев газа (слоев фильтрующего материала), по КПД не уступающим матерчатым фильтрам.

По мере движения скорость частиц и несущего их потока падает и в области сборной камеры где градиенты давления в сборной камере и в ловушке выравниваются, образуются условия выпадения частиц в саму

камеру. Оставшиеся частицы (незначительная часть) попадают в аэродинамическую ловушку, накапливаются в ней и, за счет гравитационной силы, в конечном итоге проваливаются в сборную камеру б.

При этом расстояние $S' - S''$ определяет место выпадения частицы определенного размера.

Наблюдение выпадения частиц в сборную камеру подтверждает вышесказанное. Лишь незначительная часть (менее 2-3%) частиц увлекается потоком и переносит частицы обратно в аэродинамическую ловушку.

На базе модельной установки создана промышленная установка рис. 6 с производительностью 15000 м³/час и оснащенная измерительной аппаратурой фирмы Testo (testo-335), электронными весами марки Ohaus Corp (rv 313) с точность измерения до 0,1 грамма. Эксперимент проводился с целью определения влияния разряжения в аэродинамической ловушке, а также в бункере пыли, которые соединены через щели для провала пыли, на степень улавливания (к.п.д). Исследования проводились на золе экибастузского угля с дисперсностью частиц 5-100 мкм. Было проведено 45 испытаний, результаты которых были осреднены и представлены в таблице 1.

При дальнейшем увеличении разряжения происходит дополнительная турбулизация потока, что не позволяет увеличить КПД установки из-за пульсаций пото-

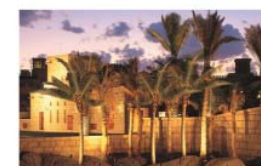
ка и, как следствие, дополнительного уноса золы частиц.

На последних опытах на лабораторной установке достигнут КПД 99,25% и найдено условие, при котором поперечно-струйный аэрофильтр даст КПД 99,99%. Опыты велись на диспергированном графите марки ГЛ-1, это очень тонкий порошок, не улавливается ничем, кроме матерчатых фильтров.

В процессе реализации проекта планируется проведение дополнительных исследований на возможность более широкого применения данных эффектов и поиска новых конструктивных решений с целью повышения высоко технологического прикладного применения Установок в промышленности. Сегодня уже найдены такие конструктивные решения, которые позволяют очищать отходящие газы от взвешенных частиц с эффективностью до 99,99%. Область применения расширяется, начиная от машиностроительной (применение кондиционеров в автомобиле) до бытовых пылесосов и кондиционеров. ■

Литература:

1. Жолондковский О.И., Внимание, воздух!, М.: Моск. Рабочий, 1985. 159 с.
2. Стулов В.П. Лекции по газовой динамике. Физматгиз, 2004. 260 с.



Конференция и выставка ME-TECH 2011

24 - 26 января, Комплекс Мадинат Джумейра, Дубай, ОАЭ



САММИТ РУКОВОДИТЕЛЕЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ И ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ И СНГ

27 - 28 января, Комплекс Мадинат Джумейра, Дубай, ОАЭ

ФОРУМ ПО ПРОЕКТАМ

11 - 12 апреля, Москва

ВВТС 2011 для России и стран СНГ

Конференция и выставка России и стран СНГ по технологиям переработки нефтяных остатков
13 - 14 апреля, Москва



CHINA DOWNSTREAM

Форум и выставка Китая по технологиям нефтехимии, переработки газа, угля, нефти и нефтяных остатков
19 - 20 мая, Тяньцзинь

Конференция и выставка CAT-TECH 2011

Международный форум и выставка по технологиям катализа
13 - 14 июня, Дубровник



Международная ВВТС 2011

Международная конференция и выставка по технологиям переработки нефтяных остатков
15 - 16 июня, Дубровник

ЗЕЛЕНЬ ФОРУМ 2011

Зеленый форум и выставка по нефтепереработке и нефтехимии
17 июня, Дубровник

СЕМИНАР ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОЕКТАМИ

июль, Москва

IGTC 2011

Международная газовая технологическая конференция и выставка
3-я неделя сентября, Москва

RPTC 2011

Конференция и выставка по технологиям нефтехимии России и стран СНГ
3-я неделя сентября, Москва

RRTC 2011

Конференция и выставка по технологиям нефтепереработки России и стран СНГ
3-я неделя сентября, Москва

СЕМИНАР ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОЕКТАМИ

ноябрь, Москва

Для получения более подробной информации посетите наш сайт WWW.EUROPETRO.COM или свяжитесь с нами

23 - 25 августа 15-я специализированная международная выставка

НЕФТЬ. ГАЗ. ХИМ. 2011

САРАТОВ

Официальная поддержка
Правительство Саратовской области
Союз нефтегазопромышленников РФ
Союз производителей нефтегазового оборудования
Российский Союз химиков

ОАО "СУРГУТНЕФТЕГАЗ"

окружной выставочный центр

* ЮГОРСКИЕ КОНТРАКТЫ *

28-30 СЕНТЯБРЯ
XVI СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

НЕФТЬ. ГАЗ. ХИМ. СУРГУТ 2011

реклама

реклама