

УДК 621.928.9

СЕПАРАЦИЯ И ФИЛЬТРАЦИЯ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ
В АТМОСФЕРЕ

Буров А.А., Буров А.И., Карамушко А.В., Максимовская Е.С., Цабиев О.Н.

Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены технико-экономические параметры газоочистных систем и подтверждена перспективность обеспыливания выбросов в атмосферу совмещением в последовательно соединённых криволинейных газовых каналах с замкнутыми контурами центробежной сепарации и многократной непрерывной фильтрации газов через циркулирующие слои золы или пыли. Обоснована эффективность использования фильтров с обратными связями (замкнутыми контурами) при замене природного газа твёрдым топливом. Сравнимое с рукавными

фильтрами обеспыливание газовых выбросов в атмосферу достигается при десяти и более замкнутых контурах. Фильтры с обратными связями (замкнутыми контурами) с двумя разными выходами очищенного газа обеспечивают необходимую очистку при малых числах последовательно соединённых криволинейных каналов. По аналогии с вихревой трубой, через один выход выводится центральная часть закрученного транзитного потока (очищенный газ), через другой выход проходит периферийная часть, требующая дополнительной очистки.

ВВЕДЕНИЕ

Совмещение центробежной сепарации и непрерывной многократной фильтрации запылённого газового потока через слои золы или пыли повышает эффективность обеспыливания выбросов в атмосферу каждым из этих способов газоочистки [1].

Таблица 1.

Технико-экономические показатели газоочистного оборудования.

Пылеуловитель	Степень улавливания, %	Капитальные затраты	Эксплуатационные расходы	Сумма затрат
Циклон средней эффективности	27	1	1	2
Циклон повышенной эффективности	73	1,9	1,43	3,33
Сухой электрофильтр	92	9,1	1,9	11
Скоростной пыле-уловитель (Вентури)	99,6	4,55	6,6	11,15
Рукавный фильтр	99,9	5,15	4,1	9,25

Необходимость повышения эффективности этих способов подтверждается приведенными в таблице 1 сравнительными данными [2].

Циклоны нуждаются в повышении качества обеспыливания, рукавные фильтры – в снижении капитальных и эксплуатационных расходов.

Замена разных циклонов вертикальными и горизонтальными буранами с замкнутыми контурами снижает до 5 раз выбросы в атмосферу с меньшими капитальными затратами и эксплуатационными расходами [3,4].

Установка в топочном пространстве горизонтальной системы с замкнутыми контурами увеличивает время пребывания дымовых газов в высокотемпературной зоне и препятствует образованию диоксинов. Она возвращает уловленную золу в кипящий слой, замедляет износ теплообменных поверхностей, стабилизирует течение в газовом тракте и сокращает его длину, экономит материальные, трудовые и энергетические ресурсы [5]. Замена циклона вертикальным бураном в системе внепечной дегазации жидкой стали повысила на 40% производительность станции вакуумных роторных насосов и сократила на треть (с 37 до 25 минут) время дегазации 120 т стали [6].

СОВМЕЩЕНИЕ СЕПАРАЦИИ И ФИЛЬТРАЦИИ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

Подобно циклонам, бураны с замкнутыми контурами просты по устройству, в изготовлении, монтаже и эксплуатации. Они надёжны в работе и эксплуатируются годами в условиях, при которых циклоны выходят из строя через несколько месяцев. Качество обеспыливания определяется отношением

$$C_k = \frac{C_n}{1 + 2^{n-1}} \quad (1)$$

где C_k и C_n – запылённости выбросов до и после очистки, n – число последовательно соединённых каналов (замкнутых контуров). Согласно (1), сравнимое с фильтром обеспыливание достигается при $n > 10$, если в каждом из каналов реализуется дихотомическое деление массы пыли ($\eta_i = \varepsilon_i = 0,5$, где η_i и ε_i – коэффициенты улавливания и уноса пыли из i -го канала). Результаты многочисленных промышленных испытаний подтверждают справедливость расчётной зависимости (1) и допущения равенства η_i и ε_i .

Крупные частицы и агрегаты мелких частиц полидисперсной пыли с массами больше определённой величины возвращаются из первого канала в запылённое пространство (топку) или накапливаются в соединённом с первым каналом бункере. Мельчайшие частицы уносятся очищенным газом. Частицы и агрегаты с промежуточными массами распределяются по равновесным орбитам и циркулируют в замкнутых контурах, создаваемых парой соседних каналов.

Уменьшение масс циркулирующих агрегатов и частиц при их измельчении перемещает их последовательно на орбиты большей кривизны (от периферии к центру) и уносит очищенным газом. Увеличение масс при коагуляции приводит к дрейфу циркулирующих агрегатов от центра к периферии, накоплению в бункере или возврату в запылённое пространство. Вероятности обоих событий уравниваются при длительном пребывании циркулирующих агрегатов и частиц на каждой равновесной орбите с реализацией условия η_i и ε_i .

Циркулирующий в замкнутом контуре слой монодисперсных твёрдых частиц является источником выбрасываемых к периферии агрегатов и уносимых к центру измельчённых частиц. Частицы в слой постоянно обновляются. При этом масса слоя и фильтрующая поверхность пыли остаётся неизменной. Дисперсность циркулирующих агрегатов и частиц увеличивается с уменьшением радиуса равновесной орбиты.

Система последовательно соединённых криволинейных каналов с замкнутыми контурами, присоединённым бункером – пылесборником и одним выходом закрученного транзитного потока (очищенного газа) называется бураном, с двумя выходами – фильтром с обратными связями. Результаты расчёта движения монодисперсных частиц пыли диаметром $\delta = 1$ мкм в горизонтальном фильтре с обратными связями (рис. 1) свидетельствуют о меньшей запылённости очищенного воздуха в правом выходном патрубке при правостороннем вращении воздушного течения.

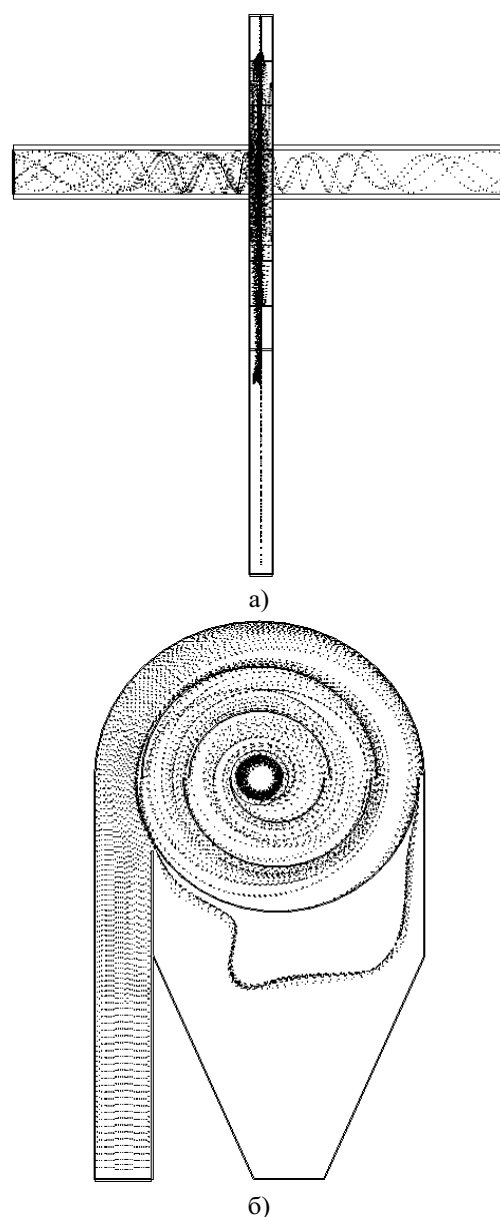


Рис. 1 Движение пыли в фильтре с обратными связями: (а) транзитные потоки; (б) циркулирующие потоки.

При расчёте проявляются циркулирующие потоки пыли в каналах и свободное от пыли ядро в центральной области закрученного течения.

Каждый циркулирующий поток пыли соединяет выход и вход своего канала и реализует в нём отрицательную обратную связь. Все циркулирующие потоки соединяют выходы из системы каналов с её входом и стабилизируют протекающие в неё процессы. Отрицательная обратная связь – эффективный механизм управления запылёнными газовыми потоками – сложными вероятностными системами.

С изменением начальных параметров запылённого потока изменяются массы извлекаемых фильтром агрегатов и частиц. Система каналов с замкнутыми контурами является автоматом, производящим агрегаты дисперсных твёрдых частиц.

В дозирочном отделении ДО – 1 ферросплавного завода восемь параллельно соединённых цилиндрических циклонов ЦН – 15 с диаметром 800 мм были заменены фильтром с обратными и воздухопроводами с замкнутыми контурами (рис. 2).

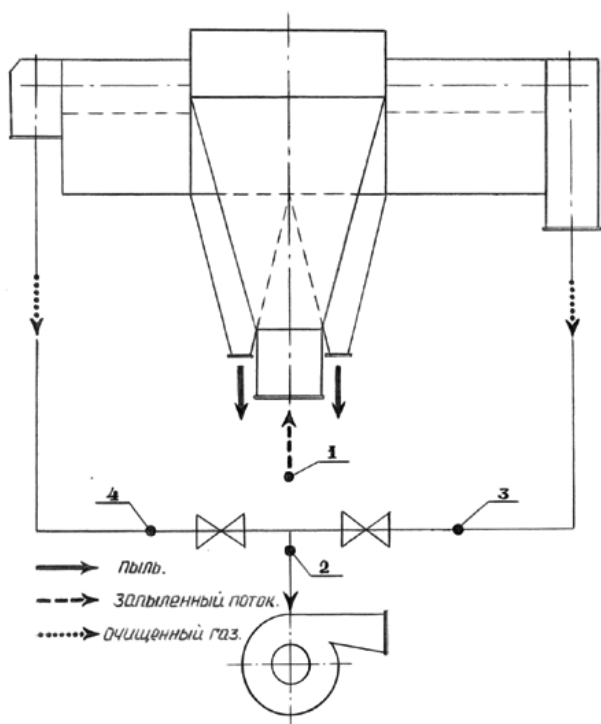


Рис.2 Схема соединения фильтра с пылесосом и точки замеров.

В процессе пуско-наладочных работ в указанных на рисунке 2 точках проведены замеры представленные в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты замеров фильтра с обратными связями.

Показатель	Точки замеров			
	1	2	3	4
Расход, м ³ /ч	96900	101900	63400	39500
Скорость, м/с	17,5	18,2	15,6	9,5
Запылённость, г/м ³	3	0,3	0,028	0,586

По сравнению с циклонами фильтр с обратными связями при равных расходах воздуха на выходах повысил извлечение пыли шихты в два раза на одном выходе и в пять раз на втором. В целом он снижал на порядок запылённость аспирационного воздуха, сокращая потери готового продукта и загрязнение окружающей среды. Результаты промышленных испытаний согласуются с зависимостью (1) для $n = 4$.

Горизонтальный буран с $n = 10$ и орошением плавильных газов в газоходе с замкнутым контуром обеспыливал их после групповых циклонов и очищал от фтористого водорода до санитарных норм. За одну плавку плавильные газы выносят из электродуговой печи до 600 кг флюса, из которого до 200 кг улавливались в циклонах и до 400 кг извлекались в буране с коэффициентом уноса $\epsilon = 0,5\%$. Комплексная очистка плавильных газов практически исключила потери ценного продукта и поступление в окружающую среду твёрдых и газообразных загрязнителей при сопротивлении тракта $\Delta P = 5000$ Па. Она подтвердила эффективность использования в газоходах с замкнутым контуром механической энергии сильно закрученного газового течения, возникающего в центральной области системы криволинейных каналов с замкнутыми контурами.

Общий коэффициент сопротивления системы каналов с замкнутыми контурами представляется суммой частных коэффициентов сопротивления её структурных элементов -

$$\zeta_n = \zeta_0 + \sum_{i=1}^n \zeta_i, \quad (2)$$

где n – число каналов с замкнутыми контурами в системе, ζ_0 – коэффициент сопротивления центральной области системы, ζ_i – коэффициент сопротивления i -го канала. Если площадь поперечного сечения входного и выходного патрубков системы каналов с замкнутыми контурами равны, $\zeta_n = (n-1)^2$, или при $\zeta_i = 0,5$ потери напора транзитного потока в

центральной области системы с $n = 4$ будут достигать 80% от общих потерь в системе. Эти допущения согласуются с общей картиной диссипации механической энергии транзитного потока представленной на рисунке 3.

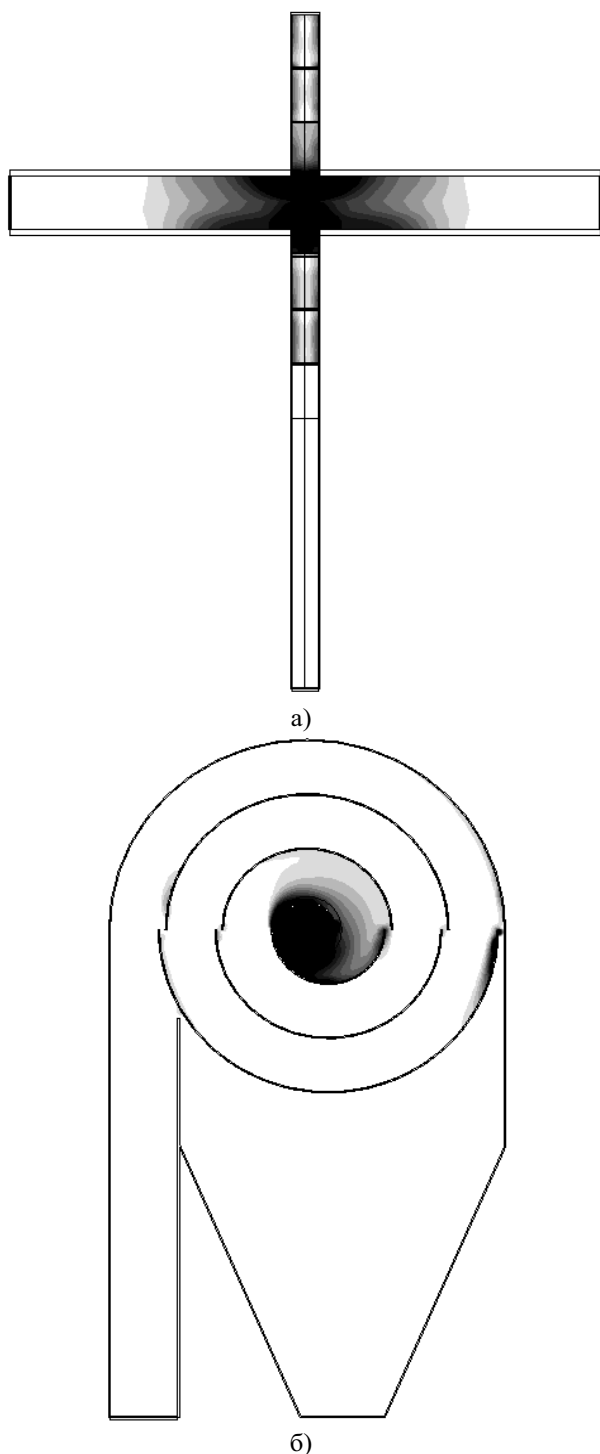


Рис.3 Диссипация механической энергии воздушного потока: (а) вид слева; (б) вид впереди.

Преобразование кинетической энергии закрученного в центральной области течения в потенциальную с помощью установленного на выходе раскручивателя повышает эффективность обеспыливания в буранах и фильтрах с обратными связями. Раскручиватель вертикального бурана повысил производительность вакуумной установки внепечной дегазации жидкой стали. Раскручиватель горизонтального фильтра обеспечивает возврат пыли из центральной области на вход в аппарат. При необходимости возвращаемая пыль может разгружаться обеспыливающим агрегатом (рис. 4).

Коэффициент улавливания пыли агрегате-

$$\eta = \frac{\eta_6 \eta_6}{\eta_6 - \eta_6(1 - \eta_6)},$$

где η_6 и η_6 – коэффициенты улавливания пыли в бункере и вентиляторе, соединённом с бункером замкнутым контуром.

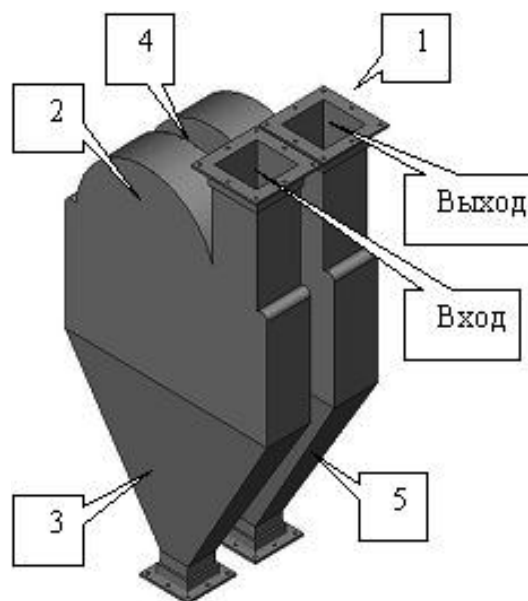


Рис.4 Обеспыливающий агрегат с разгрузителем: 1- источник пыли; 2 – разгрузитель; 3 – пылесборник разгрузителя; 4 – вентилятор; 5 – пылесборник вентилятора.

Использование обеспыливающего агрегата в замкнутых аспирационных системах исключает потери тонкодисперсной готовой продукции и загрязнения ею окружающей среды. Агрегат с разгрузителем способен обеспыливать концентрированные циркулирующие потоки.

Система топливоподачи на Трипольской ТЭС имеет порядка 20 узлов перегрузки угля. Их защитные укрытия аспирируются по открытой схеме с обеспыливание воздуха в конических циклонах СИОТ №7. Установка ПГОУ – 11 выбрасывает в атмосферу до 1 кг/ч готовой к сжиганию угольной пыли с размерами частиц менее 100 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможности использования в технике и технологии совмещения сепарации и фильтрации в криволинейных каналах не исследованы в достаточной мере. Обеспыливание газовых выбросов в буранах изучено в большей степени, в фильтрах с обратными связями – практически не исследовано. Нет данных об эффективности систем с замкнутыми контурами, встроенных в топочное пространство, сушилки, реакторы. Перспективность этого направления связана с возможностью набора цилиндрических полуобечаек из трубных пакетов. Совмещение сепарации и фильтрации в криволинейных каналах интенсифицирует массообмен и химические реакции при проти-

Замена открытых систем аспирации укрытий мест перегрузки угля замкнутыми системами с использованием обеспыливающих агрегатов многократно снижает потребление электроэнергии с получением до 20 кг/ч угольной пыли. Изолированное пространство (производственные участки, склады, трюмы и т.д.) – наиболее удобные замкнутой по воздуху аспирации.

воточном движении твёрдой и газовой фазы в реакторной зоне.

Наблюдаемая замена природного газа твёрдым топливом создаёт предпосылки для реабилитации угольной теплоэнергетики и совершенствования методов и средств очистки дымовых газов от твёрдых, жидких и газообразных загрязнителей окружающей среды. Использование водо-угольного топлива выводит на передний план комплексную очистку в атмосферу. Она обеспечивается совмещением сепарации, фильтрации и мокрой очистки в системах последовательно соединённых криволинейных каналах и орошаемом газоходе с замкнутым контуром.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буров А.А. Центробежный сепаратор / А.А. Буров, А.И. Буров, П.А. Котляревский, Н.Х. Кошур, А.А. Мальгота // Патент РФ № 2016665. — Б.И. — 1994 № 14.

Burov A.A. Burov A.A. Centrifugal separation / A.A. Burov, A.I. Burov, P.A. Kotlyarevskiy, N.K. Koshyr, A.A. Malgota // Patent RF № 2016665. — В.И. — 1994 № 14.

2. Кохан Л.С., Сапко А.И., Жук А.Я. Механическое оборудование заводов цветной металлургии. Часть 2. — М.: 1988. 328 с.

Kokhan L.S., Sapko A.I., Zhyk A.Y. Mechanical equipment of nonferrous metallurgy plants. Part 2. — М.: 1988. 328 p.

3. Лепихин А.П. Использование пылеуловителей новой конструкции вместо циклонов / А.П. Лепихин, И.В. Деревянченко, А.А. Буров, А.Д. Серебрянский // Металлург. — М.: 2004, №5. — С. 52 — 56.

Lepikhin A.P. The use of a new design dust extractors instead of cyclones / A.P. Iepikhin, I.V. Derevyanchenko, A.A. Burov, A.D. Serebryanskiy // Metallurg. — М.: 2004, №5. — pp. 52 — 56.

4. Буров А.А. Очистка воздуха и дымовых газов от пыли огарка / А.А. Буров, А.И. Буров, Н.Ф. Рябчикова, В.А. Толкач, О.Н. Цабиев // Сб. научных статей XVI Международной научно-практической конференции “Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов.” Т. 1. / УкрГНТЦ «Энергосталь». — Харьков, 2008. — С. 404 — 409.

Burov A.A. Purification of air and flue gas from dust of calcine / A.A. Burov, A.I. Burov, N.F. Ryabchikova, V.A. Tolkach, O.N. Tsabiev // International conference proceedings “Ecology and human health. Protection of air and water basins. Recycling of waste.” Vol. 1. / UkrSSEC “Energostal”. — Kharkov, 2008. — pp. 404 — 409.

5. Буров А.А. Высокотемпературная очистка дымовых газов от золы / А.А. Буров, А.И. Буров, С.В. Сурков, О.Н. Цабиев // Тез. докладов 1 – й научно – практической конференции «Угольная теплоэнергетика: проблемы реабилитации и развития» г. Алушта, 2004. — С. 11 — 12.
- Burov A.A. High-temperature flue gas cleaning of ash / A.A. Burov, A.I. Burov, S.V. Surkov, O.N. Tsabiev // International conference proceedings «Coal thermal power industry: problems of rehabilitation and development» Alushta, 2004. — pp. 11 — 12.
6. Буров А.А. Эксплуатация буранов на металлургическом заводе / А.А. Буров // Сб. научных статей XVI Международной научно-практической конференции “Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов.” Т. 1. / УкрГНТЦ «Энергосталь». — Харьков, 2008. — С. 410 — 414.
- Burov A.A. Exploitation of blizzards in a metallurgical / A.A. Burov // International conference proceedings “ Ecology and human health. Protection of air and water basins.” Recycling of waste.” Vol. 1. / UkrS-SEC “Energostal”. — Kharkov, 2008. — pp. 410 — 414.