

УДК 66.074.912

КУЗЬМИН К.В., студент гр. МТБ-251 (ТГТУ)
Научный руководитель СУХОВА А.О., к.т.н., доцент (ТГТУ)
г. Тамбов

ОЧИСТКА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Промышленное производство – это двигатель экономики, но зачастую оно работает на ископаемом топливе и сопровождается выбросом в атмосферу огромного количества загрязняющих веществ. Согласно статистике, на различные отрасли промышленности и энергетики приходится существенная доля выбросов: теплоэнергетика – 27%, черная металлургия – 24,3%, цветная металлургия – 10,5%, нефтедобыча и нефтехимия – 15,5%. Ежегодно в атмосферу Земли выбрасываются миллионы тонн загрязнителей, включая пыль, оксид углерода, диоксид серы и оксиды азота. Эффективная очистка газовых выбросов перестала быть просто рекомендацией, а стала строгой законодательной нормой и вопросом социальной ответственности бизнеса.

Для эффективного контроля выбросы принято классифицировать:

• По организации отвода:

◦ **Организованные:** поступают в атмосферу через специально сооруженные газоотводы, воздуховоды и трубы. Это технологические выбросы и выбросы от систем вентиляции.

◦ **Неорганизованные:** поступают в виде ненаправленных потоков из-за нарушения герметичности оборудования, отсутствия или неудовлетворительной работы систем отсоса в местах погрузки-разгрузки. Такие выбросы опасны тем, что скапливаются в нижних слоях атмосферы, создавая прямую угрозу для здоровья персонала.

• **По составу:** загрязнения делятся на аэрозоли (пыль, дым, туман) и газообразные или парообразные вещества.

• По типу источника:

◦ **Стационарные:** прочно связаны с территорией предприятия (трубы котельных, вентиляционные шахты).

◦ **Передвижные (мобильные):** к ним относятся транспорт и техника предприятия, имеющие двигатели.

Методы очистки делятся на несколько групп в зависимости от принципа действия и типа удаляемых загрязнений. Часто для достижения требуемой чистоты используется **многоступенчатая система**, комбинирующая несколько методов.

1. Очистка от твердых частиц (пыли, золы, аэрозолей)

• **Гравитационные пылеуловители и циклоны.** Простейшие устройства, где частицы отделяются под действием центробежной силы или силы тяжести. Эффективны для крупной пыли (более 10-20 мкм). Конструктивно циклон представляет собой стальной корпус с конической нижней частью, куда

загрязненный поток подается через спиральный патрубок и закручивается, после чего частицы под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам. Часто используются как первая ступень очистки. Данный аппарат изображен на рисунке 1.



Рисунок 1. Циклон в разрезе [1]

• **Рукавные фильтры.** Один из самых распространенных и эффективных методов. Газы пропускаются через тканевые рукава, на которых оседают тонкодисперсные частицы. Эффективность достигает 99,9%. Для очистки рукавов от налипшей пыли используется механическое встряхивание или импульсная продувка сжатым воздухом. Современные рукавные фильтры могут оснащаться термостойкими материалами, что позволяет очищать газы с температурой до 900°C. Представленный аппарат изображен на рисунке 2.



Рисунок 2. Рукавный фильтр в разрезе [2]

• **Электрофильтры.** В их случае очистка происходит за счет ионизации газа и осаждения заряженных частиц на электродах. Высокоэффективны для улавливания мелкой пыли и туманов, особенно в энергетике и металлургии.

Степень очистки в электрофильтрах достигает 90% и более. Для поддержания эффективности применяется периодическая продувка электродов или их механическое встряхивание. Пример данного оборудования изображен на рисунке 3.

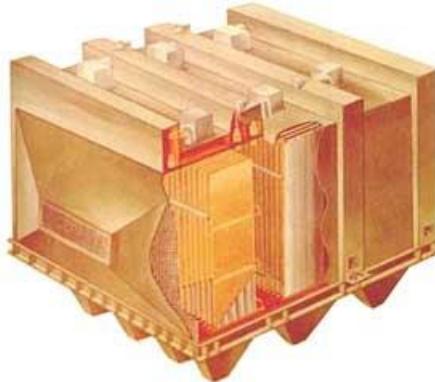


Рисунок 3. Электрофильтр [3]

• **Мокрые скруббера**. Очистка загрязненного потока в них происходит за счет его контакта с жидкостью (чаще всего водой), которая связывает твердые частицы. Конструкции скрубберов разнообразны: полые, насадочные, тарельчатые и скруббера Вентури. Скруббер Вентури, где жидкость дробится на мельчайшие капли в узкой горловине, обеспечивает особенно высокую эффективность очистки.



Рисунок 4. Мокрый скруббер в разрезе [4]

2. Очистка от газообразных и парообразных загрязнений

• **Абсорбция (промывка)**. Газы пропускаются через жидкий поглотитель (абсорбент), который химически или физически связывает вредные компоненты. Процесс эффективно реализуется в скрубберах различных типов.

◦ *Физическая абсорбция*: загрязнения растворяются в жидкости без химической реакции.

◦ *Химическая абсорбция*: загрязнители вступают с абсорбентом в химическую реакцию с образованием новых веществ.

• **Адсорбция**. Основана на поглощении газов твердыми телами с развитой пористой поверхностью — адсорбентами (чаще всего — активированный уголь, цеолиты, силикагель). Метод идеален для улавливания паров органических

растворителей, удаления неприятных запахов. Адсорбенты можно регенерировать, что делает процесс экономичным. Эффективность метода достигает 95-99%.

• **Каталитические методы.** Вредные компоненты преобразуются в безвредные соединения в присутствии катализатора. Наиболее яркий пример — нейтрализация оксидов азота (NO_x). Катализаторы на основе никеля, кобальта, марганца способствуют разложению оксидов азота на безвредный молекулярный азот. Этот метод также применяется для обезвреживания органических соединений.

• **Термические методы.** Загрязняющие вещества сжигаются в специальных установках при высоких температурах. Применяется для обезвреживания токсичных или дурнопахнущих примесей. К недостаткам можно отнести дополнительные расходы на топливо при сжигании низкоконцентрированных газов.

3. Комбинированные методы и многоступенчатые системы

Для сложных многокомпонентных выбросов часто используется комбинация нескольких методов. Например, классическая схема может выглядеть так:

1. **Циклон** → для удаления крупной пыли.
2. **Скреббер** → для охлаждения газа и химической нейтрализации диоксида серы (SO_2) щелочным раствором.
3. **Электрофильтр или рукавный фильтр** → для тонкой очистки от мелкодисперсной пыли.

Тенденции и будущее очистки газов.

1. **Комплексный подход.** Вместо локальной очистки на каждой трубе внедряются комплексные системы газоочистки, охватывающие все производство.

2. **Ресурсосбережение.** Все большее значение приобретают технологии, которые не просто обезвреживают выбросы, но и извлекают из них ценные ресурсы. Например, при очистке от сероводорода его можно превращать в товарную серу, а углекислый газ — использовать для производства метанола.

3. **Цифровизация.** Внедрение систем IoT (Интернета вещей) и AI (искусственного интеллекта) для мониторинга выбросов в реальном времени, прогнозирования нагрузки и оптимизации работы газоочистного оборудования.

Очистка газовых выбросов — это не просто статья расходов для промышленного предприятия, а неотъемлемая часть современного, устойчивого и ответственного производства. Наличие эффективной системы газоочистки не только позволяет предприятию избежать крупных штрафов и приостановки деятельности, но и вносит прямой вклад в сохранение окружающей среды и здоровья людей. Инвестиции в такие технологии — это инвестиции в будущее.

Список литературы:

1. Арыштаев, А. А. Классификация пылеуловителей / А. А. Арыштаев // Форум молодых ученых. – 2017. – № 6 (10). – С. 11-14. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-pyleuloviteley> (дата

обращения: 25.10.2025).

2. Крайнова, Ю. В. Рукавные фильтры / Ю. В. Крайнова // Вестник магистратуры. – 2013. – № 4 (19). – С. 68-70. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rukavnye-filtry> (дата обращения: 26.10.2025).

3. Николаев, М. Ю. Электрофильтры: принцип работы и основные достоинства / М. Ю. Николаев, А. М. Есимов, В. В. Леонов // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 41. – С. 75-81. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektrofiltry-printsip-raboty-i-osnovnye-dostoinstva> (дата обращения: 26.10.2025).

4. Слободяник, И. П. Циклонный скруббер с центробежной форсункой для мокрого улавливания шрота / И. П. Слободяник // Известия вузов. Пищевая технология. – 1996. – № 3-4. – С. 27-28. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsiklonnyy-skrubber-s-tsentrrobezhnoy-forsunkoy-dlya-mokrogo-ulavlivanija-shrota> (дата обращения: 27.10.2025).