

УДК 502.3

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В АТМОСФЕРУ**

Е.А. Артемьева студентка гр. ИЗмоз-241, I курс
Научный руководитель: Теряева Т.Н., д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Загрязнение воздуха вредными газообразными веществами по-прежнему представляет собой одну из важнейших экологических задач нашего времени. Это негативно сказывается на здоровье населения, состоянии природных систем и общем климате.

По данным ежегодного отчета Министерства природных ресурсов России "О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации за 2023 год" (дата публикации – 10 сентября 2024 года), главным фактором загрязнения атмосферы являются промышленные предприятия: химические заводы, металлургические комбинаты, энергетические станции, а также сельскохозяйственные организации и другие подобные объекты [1].

В таблице 1 представлен перечень веществ, загрязняющих атмосферу, которые выбрасываются промышленными предприятиями, с классификацией по степени их опасности.

Таблица 1 – Классы опасности загрязняющих атмосферу веществ

Класс опасности			
1	2	3	4
<ul style="list-style-type: none">• Бенз(а)пирен• Кадмий• Сульфат никеля• Свинец• Ртуть• Хром (CrIV)• Смолистые вещества (возгоны пека) в составе электролизной пыли выбросов производства алюминия	<ul style="list-style-type: none">• Сероводород• Оксид меди• Марганец и его соединения• Мышьяк, его неорганические соединения• Оксид никеля• Серная кислота• Угольная зола теплоэлектростанций• Фториды• Хлор• Сульфат цинка• Бензол и его соединения• Формальдегид	<ul style="list-style-type: none">• Оксид азота 2• Диоксид азота• Взвешенные вещества• Триоксид железа• Углерод (сажа)• Диоксид серы• Сольвент-нафта• Диметилбензол	<ul style="list-style-type: none">• Аммиак• Оксид углерода• Нафталин

Для уменьшения вредного воздействия на окружающую среду необходимо осуществлять очистку промышленных выбросов. В настоящее время выделяют пять основных способов очистки газообразных выбросов: удаление примесей путем обработки растворителями (абсорбция); химическая обработка выбросов растворами, которые связывают загрязнители (хемосорбция); улавливание газообразных примесей с использованием твердых сорбентов (адсорбция); термическая обработка отходящих газов и удаление загрязнителей с использованием каталитических процессов [2]. Каждый из этих методов обладает своими преимуществами и недостатками (табл. 2–6).

Таблица 2 – Абсорбция

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • Универсальность. • Подходит для очистки потоков, содержащих ряд загрязнителей. • Возможность очистки сложных многокомпонентных соединений. 	<ul style="list-style-type: none"> • Образование жидких стоков. • Громоздкость аппаратного оформления. • Высокая стоимость абсорбентов.

Таблица 3 – Хемосорбция

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • Эффективность. • Метод позволяет очищать дымы экстремальной активности и биотоксичности, обезвреживать потоки с высокими концентрациями различных веществ. • Возможность использования разных типов жидких отходов. • Регенерация отходов. 	<ul style="list-style-type: none"> • Снижение температуры газов, что снижает эффективность рассеивания остаточных газов в атмосфере. • Образование большого количества отходов, представляющих смесь пыли, растворителя и продуктов поглощения. • Громоздкость оборудования.

Таблица 4 – Термическая нейтрализация отходящих газов

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • Отсутствие шламов. • Малые габариты очистных установок. • Простота обслуживания. • Низкая стоимость очистки. 	<ul style="list-style-type: none"> • Расходы топлива. • Необходимость дополнительной абсорбционной или адсорбционной очистки газов после сжигания.

Таблица 5 –Поглощение примесей путем применения каталитического превращения

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • Универсальность. • Возможность очистки выбросов от широкого спектра загрязнений. • Невысокая металлоемкость. • Простота процесса и легкость его автоматизации. • Компактность используемых аппаратов. • Высокая эффективность. • Отсутствие образования сточных вод. 	<ul style="list-style-type: none"> • Затраты на катализатор и теплообменник. • Минимальная температура реакции, ниже которой катализатор не проявляет своей активности.

Таблица 6 – Адсорбция

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • Глубокая очистка газообразных выбросов, в том числе от токсичных веществ. • Лёгкость регенерации примесей с превращением их в товарный продукт или возвратом в производство. • Возможность проводить очистку газов при повышенных температурах. 	<ul style="list-style-type: none"> • Периодичность процесса. • Высокая стоимость.

Сравнение способов отчистки газообразных выбросов показало, что в настоящее время самым оптимальным по эффективности и технической реализации на предприятиях является абсорбция загрязняющих веществ жидкой фазой.

В настоящее время значительное количество научно-исследовательских работ сосредоточено как на разработке инновационных технологий очистки, так и совершенствовании существующих подходов. Примеры некоторых из них представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Современные методы очистки газообразных выбросов

Описываемый метод	Недостатки	Патент
Использование озона для удаления примесей из выхлопных газов	Наличие оксидов азота в выбрасываемых в атмосферу газах вследствие неполного окисления	Патент РФ №2645987 US 13/998,248; опубликован 28.02.2018

Описываемый метод	Недостатки	Патент
	при разделении отходящего газа на потоки и технологической обработки только одного из них.	
Очистка газов, образующихся при травлении металла азотной кислотой, введением в травильный раствор газообразного кислорода	Для улавливания вредных веществ из отходящих газов используются две системы скрубберов, отличающиеся большими размерами, высокой металлоёмкостью и значительной стоимостью, что влечёт за собой значительные капитальные вложения.	Патент РФ №2648894 US 61/753,034; 10.01.2014 US 14/151,948; опубликован 28.03.2018
Снижение содержания оксидов азота в отходящем газе введением газообразного озона на заключительную ступень многоступенчатой абсорбционной или тарельчатой колонны	Сложность и материалоемкость конструкции, включающей в себя многоступенчатые абсорбционные колонны с тарелками или насадками, а также значительные начальные инвестиции, требуемые для создания такой установки и ремонта при эксплуатации. Невозможность использования установки в условиях широкого диапазона колебаний расхода и концентрации отходящих газов.	Патент РФ №2602148 US 61/525,899; 21.08.2012 US 13/590,424; опубликован 10.11.2016

Анализ представленных патентов показывает, что они предполагают раздельное удаление оксидов азота и серы. В то же время для решения указанных недостатков предлагается метод совместного удаления N_2O_5 и SO_3 из отходящих газов. Метод удаления вредных веществ из выбросов с использованием озонированной воды и многоступенчатого поглощения представляет собой современное и эффективное решение проблемы очистки газов. Основные преимущества данной установки, описанной в патенте РФ № 2686037 C01B01D50/00 (зарегистрирован 18.11.2021) включают:

1. Эффективность очистки: многоступенчатая система поглощения позволяет достигать высоких уровней удаления вредных веществ, благодаря использованию озонированной воды, которая обладает сильными окислительными свойствами.

2. Уменьшение повторного загрязнения: конструкция установки предотвращает возможность повторного загрязнения окружающей среды, что является критически важным аспектом для защиты экосистем и здоровья населения.

3. Упрощение управления: упрощенная система управления технологическим процессом снижает вероятность ошибок и повышает надежность работы установки.

4. снижение затрат: Низкие первоначальные инвестиции и уменьшение эксплуатационных расходов делают данный метод более доступным для различных предприятий.

5. Извлечение полезных компонентов: возможность извлечения ценных веществ из отходящих газов позволяет не только очищать воздух, но и создавать дополнительные источники дохода за счет повторного использования или переработки этих веществ.

6. Возврат озона: круговорот озона, который не среагировал, обратно в процес делает установку более ресурсосберегающей и эффективной.

Эта технология отвечает как экологическим требованиям, так и экономическим интересам, что делает ее перспективным решением для предприятий, работающих в сферах, связанных с выбросами вредных веществ.

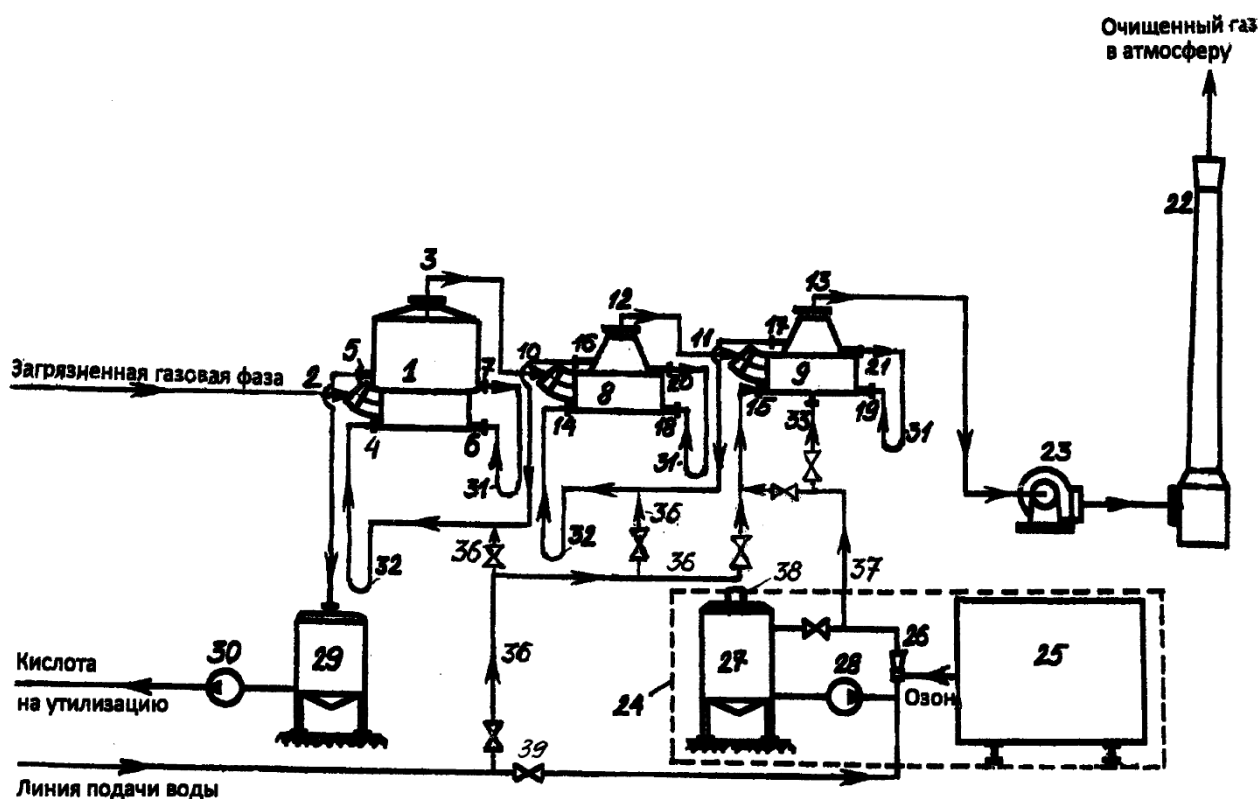


Рисунок – Установка для очистки отходящих газов

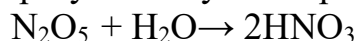
В состав установки входят:

1. Туманоуловитель (1):
 - Содержит вихревое контактное устройство и фильтрующие элементы.
 - Имеет патрубки:
 - Входа газовой фазы (2)
 - Выхода газовой фазы (3)
 - Входа жидкой фазы (4)
 - Выхода жидкой фазы (5)
 - Входа циркуляционной жидкости (6)
 - Выхода циркуляционной жидкости (7)
 2. Каскад вихревых абсорберов (8, 9):
 - Состоит как минимум из двух последовательно соединенных одноступенчатых абсорберов.
 - Размещены по ходу движения газовой фазы с увеличением высоты.
 - Обеспечивают самотек жидкости между ступенями.
 - Имеют патрубки:
 - Входа газовой фазы (10, 11)
 - Выхода газовой фазы (12, 13)
 - Входа жидкой фазы (14, 15)
 - Выхода жидкой фазы (16, 17)
 - Входа циркуляционной жидкости (18, 19)
 - Выхода циркуляционной жидкости (20, 21)
 3. Труба выброса очищенного газа (22);
 4. Вытяжной вентилятор (23):
 - Создает разрежение в туманоуловителе и абсорберах.
 - Нагнетает очищенный газ в трубу выброса (22).
 5. Блок получения озонированной воды (24):
 - Промышленный озонатор (25) с блоком управления.
 - Эжектор (26).
 - Необязательные элементы:
 - Циркуляционная емкость озонированной воды (27).
 - Насос (28) для перекачки озонированной воды.
 6. Накопительная емкость для жидких кислых фаз (29).
 7. Насос для перекачки жидких кислых фаз (30).
 8. Циркуляционные (31) и переточные (32) гидрозатворы между туманоуловителем и абсорберами.
 9. Трубопроводы: Для подачи загрязненного газа, воды, для транспортировки, распределения и отвода газовых и жидких фаз, а также для отвода очищенных газов.
- Особенность абсорбера (9) наличие дополнительного патрубка (33), переходящего во внутреннюю трубу (34), располагающуюся перпендикулярно нижней части аппарата соосно с вихревым контактным устройством (35). Труба (34) выходит в центр вихревого контактного устройства (35) и

предназначена для подвода озонированной воды из емкости (27) или эжектора (26) непосредственно в контактное устройство (35).

Положительный эффект использования озонированной воды в установке для очистки газов заключается в следующем:

- Озонированная вода выполняет две функции: абсорбент кислых газов и окислитель для NO_x и SO_x.
- Абсорбция кислых газов: Озонированная вода поглощает пары кислых газов, присутствующих в поступающем газовом потоке.
- Окисление и абсорбция оксидов: Озонированная вода окисляет оксиды азота (NO_x) и серы (SO_x) до высших оксидов (N₂O₅ и SO₃), которые затем поглощаются водой, образуя азотную и серную кислоты.



Азотная HNO₃ и серная H₂SO₄ кислоты, формирующиеся в процессе очистки, содержат кислород и отличаются повышенной химической активностью. Благодаря их отличной растворимости в воде, отделение от газовой смеси в абсорбционных устройствах не представляет сложности.

Не вступивший в реакцию озон, оставшийся после обработки, направляется в газовую фазу на любой из этапов абсорбции, предшествующих последнему. Эта технология, в сочетании с применением озонированной воды как абсорбента, позволяет максимально окислить оксиды азота и серы, содержащиеся в отходящих газах, поступающих в систему очистки. Это предотвращает повторное загрязнение очищенного газа избыточным озоном, не вступившим в реакцию и выбрасываемым в атмосферу.

Анализ современных методов очистки газообразных выбросов промышленных предприятий показал, что наиболее распространенным и технически реализуемым способом является абсорбция загрязняющих веществ жидкой фазой и пропускание через фильтрующие элементы с последующей утилизацией улавливаемых веществ и выбросом очищенного газа в атмосферу. Однако у этого метода есть свои недостатки, задачу по устранению которых решает патент РФ № 2686037 C01B01D50/00 (зарегистрирован 18.11.2021), предлагающий использовать для очистки выбросов многоступенчатую систему очистки, включающую механическую очистку (туманоуловитель), абсорбцию загрязняющих веществ в вихревых абсорберах и использование озонированной воды для повышения эффективности очистки в последнем абсорбере. Это решение обеспечивает высокую эффективность очистки при разных объемах и концентрациях отходящих газообразных выбросов, гарантируя улавливание не менее 99,99% паров, кислотных туманов, оксидов азота и серы. Всё это позволяет уменьшить затраты на оборудование и его использование, упростить схему очистки и увеличить объем собранной кислоты для ее повторного использования или переработки.

Список литературы:

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году» – Текст: электронный // Государственные доклады Минприроды России. – URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/?ysclid=m8hu7pyonb551950074
2. Хамзина Э.В., Ахметов А.М. Методы очистки газообразных отходов на нефтеперерабатывающих предприятиях – Вестник магистратуры №1-1 (112)., 2021 – Казань : – ISSN 2223-4047. –Текст : электронный // КиберЛенинка : научная электронная библиотека. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-ochistki-gazooobraznyh-othodov-na-neftegazopererabatyvayuschih-predpriyatiyah/viewer>
3. Безопасность жизнедеятельности и управление рисками: Учебное пособие – М.: РИОР: ИНФРА–М, 2016. – 251с.
4. Новые технологии и аппараты для решения экологических проблем производства энергонасыщенных материалов / Махоткин А.Ф., Петров В.И., Халитов Р. А., Махоткин И. А. // Бутлеровские сообщения. –2015. – Т. 41, №1. – С. 163-167.
5. Патент РФ №2645987 US 13/998,248, опубликован 28.02.2018. Способ и устройство для удаления примесей из выхлопных газов / Автор: Сучек Н.Д., владелец патента: КЭННОН ТЕКНОЛОДЖИ ИНК. (US) — 2018. - Текст : электронный // Яндекс.Патенты — URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2645987C2_20180228
6. Патент РФ №2648894 US 61/753,034; 10.01.2014 US 14/151,948; опубликован 28.03.2018. Способ удаления загрязняющих веществ из выходящих газов / / Автор: Сачек Н.Д., владелец патента: ЛИНДЕ АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE) — 2018. - Текст : электронный // Яндекс.Патенты — URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2648894C2_20180328
7. Патент РФ №2602148 US 61/525,899; 21.08.2012 US 13/590,424; опубликован 10.11.2016. Усовершенствованное производство азотной кислоты / / Автор: Сачек Н.Д., владелец патента: ЛИНДЕ АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE) — 2018. - Текст : электронный // Google Patents — URL: <https://patents.google.com/patent/RU2602148C2/ru>
8. Патент РФ № 2686037 C01B01D50/00, зарегистрирован 18.11.2021. Способ и установка для очистки отходящих газов / / Авторы и патентообладатели: Джангириян В. Г., Кривенко И. В., Наместников В. В., Афанасьев А. Г., Прохоров Е. Н. - 2019. - Текст : электронный // Информационно-поисковая система ФИПС — URL: <https://fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=f8bba4246395765e31b5a3dbbae9517a>