ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 55837— 2013

Ресурсосбережение

НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Обработка отходящих газов при сжигании отходов

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский центр стандартизации, информации и сертификации сырья, материалов и веществ» (ФГУП «ВНИЦСМВ») совместно с Закрытым акционерным обществом «Инновационный экологический фонд» (ЗАО «ИНЭКО»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 349 «Обращение с отходами»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. № 1774-ст

4 В настоящем стандарте реализованы положения европейских Справочников наилучших доступных технологий «Сжигание отходов» («Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. August 2006»), «Европейская комиссия. Комплексное предупреждение и контроль загрязнений. Справочное руководство по наилучшим доступным технологиям. Сжигание отходов. Август 2006 г.» («European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Incineration. August 2006»)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

6 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Июль 2019 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2016, 2019

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Целеэкологические стратегии деятельности 2
5 Социально-организационные стратегии деятельности 3
6 Ресурсно-логистические стратегии деятельности 4
7 Производственно-технологические стратегии деятельности 5

Введение

В настоящее время в большинстве стран сжигание используется при уничтожении различных видов отходов и обычно является только частью комплексной системы обращения с отходами, направленной на ликвидацию отходов, образующихся в процессе жизнедеятельности человека.

Быстрое технологическое развитие, наблюдаемое в течение последних 10—15 лет, оказало влияние и на развитие сектора сжигания отходов. Большинство изменений законодательной базы было связано с развитием регламентации хозяйственной деятельности, что повлекло за собой, в частности, необходимость сокращения выбросов в атмосферу, образующихся в результате работы промышленных установок. Оптимизация технологических процессов — процесс непрерывный: в настоящее время для сжигания отходов разрабатываются технологии с улучшенными (по сравнению с традиционными) экономическими (более низкая стоимость) и экологическими (более высокая экологическая результативность) характеристиками.

Основная цель сжигания отходов — это сокращение их объема с одновременным снижением негативного воздействия отходов на окружающую среду и здоровье человека; последнее осуществляется с помощью улавливания (и соответственно концентрирования) или деструкции потенциально опасных веществ в составе выбросов дымовых газов.

Сжигание отходов представляет собой окисление фракций, содержащихся в отходах и способных к горению. В процессе сжигания образуются газообразные продукты горения, большая часть которых может быть использована для выработки тепловой энергии. Органические субстанции, содержащиеся в отходах, горят при достижении необходимой температуры возгорания и наличии контакта с кислородом. Фактически процесс горения происходит за секунды в газообразной фазе с одновременным выделением энергии. В том случае, если теплотворная способность отходов и подача кислорода являются достаточными, это приводит к цепной тепловой реакции и самоподдерживающемуся горению, то есть необходимость в подаче другого топлива отпадает.

При выборе системы газоочистки при сжигании отходов необходимо учитывать следующие факторы:

- тип отходов, их состав и возможные изменения состава отходов;
- состав дымовых газов, объем и скорость изменений в составе;
- целевые показатели предельных значений выбросов;
- наличие накопленных/переработанных остатков, образующихся после газоочистки;
- совместимость со всеми элементами процесса сжигания отходов (для действующих предприятий);
- снижение выбросов;
- размещение различных устройств газоочистки по возможности таким образом, чтобы температура дымовых газов снижалась по мере их продвижения от котла к дымовой трубе.

Настоящий стандарт разработан на основе положений европейского Справочника наилучших доступных технологий «Европейская комиссия. Комплексное предупреждение и контроль загрязнений. Справочное руководство по наилучшим доступным технологиям. Сжигание отходов. Август 2006 г.» («European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Incineration. August 2006») и с учетом Директив Европейского союза: Директива Европейского Парламента и Совета ЕС 2000/76/ЕС «О сжигании отходов» (Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste); Директива Европейского Парламента и Совета ЕС 96/61/ЕС от 24 сентября 1996 года «О комплексном предупреждении и контроле загрязнений» (Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control).

Методы, включенные в настоящий стандарт, представляют собой наилучшие доступные технологии, пригодные к практическому внедрению и обеспечивающие высокий уровень защиты окружающей среды. В настоящий стандарт могут вноситься изменения и дополнения, что связано с достижениями научно-технического прогресса и появлением новых подходов и технологий в области обращения с отходами.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ресурсосбережение

НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Обработка отходящих газов при сжигании отходов

Resources saving. Best available techniques. Flue-gas treatment in the waste incineration

Дата введения — 2015—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает наилучшие доступные технологии экологически безопасной обработки отходящих газов при сжигании отходов.

Настоящий стандарт распространяется на этапы технологического цикла отходов, в том числе опасных, предназначенных для экологически безопасной ликвидации отходов путем их утилизации и/или удаления на лицензированных для этих целей объектах.

Настоящий стандарт не распространяется на способы обработки отходящих газов при сжигании химических, биологических, радиоактивных и военных отходов.

Положения, установленные в настоящем стандарте, предназначены для применения в нормативно-правовой, нормативной, технической и проектно-конструкторской документации, а также в научно-технической, учебной и справочной литературе применительно к процессам вовлечения отходов в хозяйственный оборот, обеспечивая при этом защиту окружающей среды и здоровья людей.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 52104 Ресурсосбережение. Термины и определения

ГОСТ Р 54097* Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Методология идентификации

ГОСТ Р 54098 Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 14050 Менеджмент окружающей среды. Словарь

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

* Действует ГОСТ 33570—2015 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Методология идентификации. Зарубежный опыт.

Издание официальное

3 Термины и определения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р ИСО 14050, ГОСТ Р 52104, ГОСТ Р 54097, ГОСТ Р 54098, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1

организованный промышленный выброс: Промышленный выброс, поступающий в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздуховоды и трубы.

[ГОСТ 17.2.1.04—77, статья 27]

3.1.2

неорганизованный промышленный выброс: Промышленный выброс, поступающий в атмосферу в виде ненаправленных потоков газа в результате нарушения герметичности оборудования, отсутствия или неудовлетворительной работы оборудования по отсосу газа в местах загрузки, выгрузки или хранения продукта.

[ГОСТ 17.2.1.04—77, статья 28]

Примечание — Неорганизованные выбросы означают не предусмотренные заранее и не предотвращенные выбросы в атмосферу сырья и/или продуктов промышленных процессов, не прошедших через фильтры или контрольные механизмы, предназначенные для предотвращения или сокращения этих выбросов либо для полной или частичной очистки их от опасных примесей перед сбросом в окружающую среду.

3.1.3

очистка газа: Отделение от газа или превращение в безвредное состояние загрязняющих атмосферу веществ.

[ГОСТ 17.2.1.04—77, статья 30]

3.1.4

промышленная очистка газа: Очистка газа с целью последующей утилизации или возврата в производство отделенного от газа или превращенного в безвредное состояние продукта.

[ГОСТ 17.2.1.04—77, статья 31]

4 Целеэкологические стратегии деятельности

4.1 Факторы, учитываемые при выборе систем очистки дымовых газов

При выборе системы газоочистки учитывают следующий (не исчерпывающий) перечень общих факторов:

- тип отходов, их состав и возможные изменения состава отходов;
- тип процесса горения и размер печи;
- температура потока дымовых газов;
- состав дымовых газов, объем и скорость изменений в составе;
- целевые показатели предельного значения выбросов;
- ограничения по сбросу сточных вод;
- требования к видимости дымового шлейфа;
- доступность землеотводов;
- наличие накопленных/переработанных остатков, образующихся после газоочистки;
- совместимость со всеми элементами процесса сжигания отходов (для действующих предприятий);
- наличие и стоимость воды и других реагентов;
- возможности энергоснабжения (например, рекуперации тепла от скрубберов);
- наличие субсидий на вырабатываемую энергию;
- допустимый сбор за прием поступающих отходов (существуют как рыночные, так и политические факторы);
- снижение выбросов;
- борьба с шумом;
- размещение устройств газоочистки по возможности таким образом, чтобы температура дымовых газов снижалась по мере их продвижения от котла к дымовой трубе.

4.2 Сокращение выбросов пыли

4.2.1 Применение системы для улавливания пыли из дымовых газов, как правило, считается необходимым для всех установок по сжиганию отходов. В 7.1—7.4 рассматривают возможность размещения этапа пылеудаления до последующих этапов системы очистки дымовых газов, то есть предварительного улавливания пыли, или после систем очистки дымовых газов, то есть в качестве последней ступени системы очистки дымовых газов. В некоторых случаях применяется двойная фильтрация, которую рассматривают в 7.3.

4.2.2 Выбор оборудования для улавливания пыли из дымовых газов осуществляют в соответствии со следующими параметрами:

- объемы поступления частиц в потоке газа;
- средний размер частиц;
- распределение размеров частиц;
- расход газа;
- температура дымовых газов;
- совместимость с другими компонентами системы очистки дымовых газов в целом, т. е. общая оптимизация процесса;
- предельно допустимая концентрация пылевых выбросов.

Примечание — Некоторые параметры, например распределение частиц по размерам или их средний размер, определяют эмпирически. Доступные варианты обработки или удаления осажденной пыли также могут влиять на выбор системы очистки дымовых газов: например, если существует отдельная возможность обработки и использования зольной пыли, то следует обеспечить ее раздельный сбор.

5 Социально-организационные стратегии деятельности

5.1 Хозяйствующие субъекты, занятые в области обращения с отходами, проводят мероприятия, позволяющие предотвращать или снижать негативные воздействия отходов на окружающую среду и здоровье людей.

Мероприятия, позволяющие предотвращать или снижать негативные воздействия отходов на окружающую среду и здоровье людей, осуществляют без угрозы для водных объектов, воздуха, почв, биоразнообразия; шумовых, инфразвуковых, ультразвуковых и вибрационных воздействий различных генерирующих источников; возникновения неприятных запахов; нарушения ландшафта, природных и/или исторических памятников.

5.2 Цель социально-организационных стратегий деятельности — это формирование достаточного человеческого потенциала, финансовых и научно-технических возможностей для обработки и удаления опасных отходов; эффективного управления деятельностью в области сжигания отходов; проведения эффективных мероприятий по борьбе с загрязнением окружающей среды в рамках всех этапов технологического цикла обращения с опасными отходами (сбор, транспортирование, обработка, использование в качестве вторичных ресурсов).

5.3 Координация взаимодействия хозяйствующих субъектов с поставщиками первичных отходов, подлежащих сжиганию

Координация взаимодействия хозяйствующих субъектов с поставщиками первичных отходов необходима для улучшения входного контроля качества отходов и уменьшения риска при обращении с твердыми остатками, образующимися при сжигании первичных отходов.

Данный подход применим для всех объектов по сжиганию отходов, однако наиболее целесообразен для тех объектов, которые получают из различных источников первичные отходы, обладающие существенно различающимися или трудно контролируемыми характеристиками.

5.4 Введение и поддержка систем экологического менеджмента

В качестве наилучших доступных технологий (НДТ) рассматривают ведение и поддержку систем экологического менеджмента, включающие в себя следующие элементы:

- определение на уровне руководства предприятия экологической политики предприятия;
- планирование и утверждение необходимых этапов производственного процесса;
- внедрение последовательных процедур с учетом установления структуры соподчиненности и ответственности;

- компетентность, повышение квалификации сотрудников;
- документирование и эффективный контроль технологических процессов;
- внедрение программ технического обслуживания;
- обеспечение готовности к аварийным и чрезвычайным ситуациям и своевременное реагирование;
- обеспечение соответствия требованиям законодательства в области охраны окружающей среды.

5.5 Мероприятия, способствующие обеспечению реализации принципов наилучших доступных технологий

Мероприятия, способствующие обеспечению реализации принципов НДТ, включают в себя:

- исследование и оценку процесса менеджмента и процедуры аудита аккредитованным органом по сертификации или внешним верификатором систем экологического менеджмента;
- подготовку и публикацию (и, возможно, внешнюю валидацию) регулярного экологического отчета, в котором приводят все существенные воздействия объекта на окружающую среду и проводят ежегодное сравнение с экологическими целями и задачами, а также отраслевыми индексами;
- внедрение международных систем экологического менеджмента и аудита.

6 Ресурсно-логистические стратегии деятельности

6.1 Оптимизация энергопотребления

Некоторые подходы к обработке дымовых газов могут значительно увеличить общую энергоемкость процесса сжигания, поэтому следует учитывать дополнительные потребности в энергии, вызванные необходимостью соответствия предельным значениям выбросов:

- сокращение выбросов пыли, включая топочную золу (содержащую связанные пылью металлы и их соединения), как правило, требует дополнительной фильтрации и увеличивает общее энергопотребление;
- сокращение выбросов NO_x ниже 100 мг/м^3 чаще всего достигается с помощью селективного каталитического восстановления NO_x (SCR). Если при сжигании отходов рекуперируется энергия, необходимая для работы дополнительной системы газоочистки, то это приводит к снижению продаж энергии на сторону;
- если температура дымовых газов на выходе из котла ниже точки росы кислоты, то для нагрева дымовых газов будет необходима дополнительная энергия;
- размещение элементов системы очистки дымовых газов должно осуществляться таким образом, чтобы элементы, требующие применения высоких рабочих температур, были расположены перед теми элементами, которые работают при более низких температурах; это приводит к снижению общего энергопотребления системы газоочистки (однако в некоторых случаях этого нельзя достичь, например для селективного каталитического восстановления, как правило, требуется чистый газ, и этот блок должен быть установлен после ступеней очистки, требующих более низкой температуры газа).

6.2 Оптимизация системы очистки дымовых газов

При оптимизации системы газоочистки целесообразно рассмотреть систему очистки дымовых газов в качестве единого целого. Это особенно актуально для удаления загрязняющих веществ, так как технологические единицы часто взаимодействуют между собой, обеспечивая первичное снижение концентрации некоторых загрязняющих веществ на одних устройствах при одновременном увеличении их концентрации — на других. В зависимости от последовательности размещения различных устройств могут быть достигнуты различные уровни эффективности очистки дымовых газов:

- если пылеуловительная камера с рукавными фильтрами расположена после места ввода реагента (в дополнение к обеспыливанию), то она работает также в качестве дополнительной реакционной камеры. Рукавные фильтры служат для обработки кислых газов, газообразных металлов (например, ртути и кадмия), а также стойких органических загрязнителей;
- в дополнение к обработке кислых газов скрубберы используются для захвата некоторых частиц и ртути, если водородный показатель является достаточно низким или используются специальные реагенты;

- SCR разрушает диоксины, если оно спроектировано соответствующим образом (с точки зрения размера);
- адсорбция активированным углем и буроугольным коксом позволяет удалять диоксины, ртуть и другие вещества.

7 Производственно-технологические стратегии деятельности

7.1 Применение предварительного этапа обеспыливания перед другой обработкой дымовых газов

7.1.1 Для предварительного обеспыливания дымовых газов используют следующие системы:
- электростатические пылеуловители, в том числе мокрые электростатические пылеуловители, конденсационные электростатические пылеуловители;
- ионизационные скрубберы с водяным орошением;
- рукавные или тканевые фильтры;
- центробежные сепараторы и многоканальные центробежные сепараторы.

7.1.2 Предварительное удаление пыли сокращает нагрузку на последующие системы очистки дымовых газов: снижается опасность их засорения, можно снизить их производительность, что далее позволит использовать расположенные элементы газоочистки, имеющие меньшие габаритные размеры, и соответственно снизить затраты на них.

Следует проявлять осторожность в отношении уровня золы в бункере, а также в отношении котельного шлака (особенно если рукавные фильтры установлены непосредственно после котла), чтобы предотвратить опасность возникновения пожара.

7.1.3 В таблице 1 представлено сравнение различных систем пылеудаления, используемых на предварительных и завершающих этапах обеспыливания.

Таблица 1 — Сравнение систем пылеудаления, используемых на предварительных и завершающих этапах обеспыливания

Система пылеудаления	Типичная концентрация в выбросах, мг/м^3	Преимущество	Недостаток
Центробежные сепараторы Мультиканальные центробежные сепараторы	200—300 100—150	Прочные, относительно простые и надежные Применяются при сжигании отходов	Применяются только для предварительного обеспыливания. Относительно высокое энергопотребление (по сравнению с электростатическими пылеуловителями)
Электростатические сухие пылеуловители	От 5 до 25	Относительно низкое энергопотребление. Можно использовать при температуре газа 150 °С — 350 °С. Широко применяются при сжигании отходов	При использовании при температурах 450 °С — 200 °С возможно образование PCDD/F
Электростатические мокрые пылеуловители	От 5 до 20	В состоянии обеспечивать низкие концентрации загрязняющих веществ в выбросах. Иногда применяются при сжигании отходов	Малый опыт использования при сжигании отходов. В основном применяются после обеспыливания. Образование технологических сточных вод. Рост видимости дымового шлейфа
Рукавные пылеуловители	Менее 5	Широко применяются при сжигании отходов. Слой остатка действует как дополнительный фильтр и как адсорбер	Относительно высокое энергопотребление (по сравнению с электростатическими пылеуловителями). Чувствительны к конденсации воды и коррозии

7.1.4 Оценка применимости подходов к предварительному обеспыливанию приведена в таблице 2.

Таблица 2 — Оценка применимости подходов к предварительному обеспыливанию

Критерии	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Применимо ко всем типам отходов. Может не требоваться при низких концентрациях пыли в неочищенном газе
Диапазон размеров предприятий	Без ограничений
Новые/действующие предприятия	Пространство может быть фактором, ограничивающим использование на действующих предприятиях
Межтехнологическая совместимость	Большее внимание к контролю температуры требуется при применении рукавного фильтра
Ключевые факторы	Пространство, необходимое для размещения дополнительной технологические единицы

7.1.5 Предварительный этап обеспыливания перед другой обработкой дымовых газов применяют, когда зольную пыль можно обработать и использовать в качестве вторичных материальных ресурсов; когда требуется использование оборудования очистки дымовых газов меньшей мощности на последующих этапах (требования по пылевой нагрузке снижаются); когда требуется совершенствование работы последующих систем очистки дымовых газов; когда предпочтительно удаление полихлоридного дибензопарадиоксина/полихлоридного дибензофурана (PCDD/F) до мокрой очистки для снижения «эффекта памяти».

7.1.6 При реализации предварительного обеспыливания наиболее значимыми являются следующие комплексные экологические воздействия:

- потребление энергии при использовании рукавных фильтров выше, чем в других системах за счет большей потери давления;
- для работы электростатического пылеуловителя требуется электричество;
- образование зольной пыли при газоочистке;
- концентрация PCDD/F в дымовых газах может увеличиваться во время их пребывания в электростатическом пылеуловителе, особенно при работе при температурах от 200 °С до 450 °С;
- остатки/отходы, образовавшиеся в системе очистки дымовых газов, и зольная пыль могут быть извлечены в случае применения этого подхода.

7.1.7 Достигаемые экологические преимущества

Сокращение выбросов дымовых газов за счет уменьшения нагрузки, создаваемой потоком частиц на последующие этапы системы очистки дымовых газов.

Извлечение зольной пыли из отходов, образовавшихся в системе очистки дымовых газов, позволяет: сократить объемы образования отходов в системе очистки дымовых газов; провести отдельную обработку зольной пыли с целью ее использования в качестве материального ресурса.

Раздельный сбор фракций отходящих газов не даст никаких экологических преимуществ, если разделенные фракции затем вновь будут смешаны. Поэтому необходимо рассмотреть весь процесс газоочистки для оценки возможности реальных преимуществ.

Электростатические пылеуловители и центробежные сепараторы самостоятельно не могут обеспечить достижение предельно допустимых показателей выбросов пыли: они полезны в качестве предварительных пылеуловителей и способствуют достижению низкого уровня выбросов при применении в комбинации с другими методами.

Эффективность работы центробежного сепаратора повышается в зависимости от пылевой нагрузки, скорости потока дымовых газов, размера и плотности частиц пыли. Если частицы зольной пыли мелки, плотность низка, а пылевая нагрузка и скорость потока меняются, то эффективность удаления пыли центробежными сепараторами ограничена. Обычно можно достичь концентрации пыли не ниже чем 200—300 мг/м^3.

Электростатические пылеуловители позволяют достигать существенно более низких значений концентрации пыли по сравнению с (многоканальными) центробежными сепараторами. В зависимости от их конструкции и размещения в системе газоочистки (в начале или в кон-

це этапа обеспыливания) и количества пластин концентрация пыли в выбросах может составить от 15 до 25 мг/м^3. Достижение значения менее 5 мг/м^3 возможно при использовании двух или трех пластин и увеличении поверхности электростатического пылеуловителя, что связано с увеличением затрат и потребности в площадях для установки.

Особым видом электростатических пылеуловителей являются мокрые электростатические пылеуловители, которые, как правило, не применяются при предварительном обеспыливании вследствие температур дымовых газов на этом этапе. Эти пылеуловители используются при доочистке газов после применения скрубберов.

Рукавные фильтры эффективны при удалении пыли. При использовании рукавных фильтров часто вводятся реагенты для формирования грунтовочного слоя на рукавах для защиты от коррозии и содействия фильтрации (особенно при глубокой фильтрации). Наиболее часто используемые реагенты — известь и активированный уголь. Использование активированного угля снижает нагрузку диоксинов на последующие этапы газоочистки; в мокрых системах он помогает сократить накопление диоксинов в материалах скруббера вследствие «эффекта памяти».

7.2 Применение систем доочистки дымовых газов

7.2.1 Подход связан с применением систем доочистки дымовых газов для окончательного снижения выбросов пыли после применения других систем очистки дымовых газов, но перед окончательным выпуском дымовых газов в атмосферу. Основные применяемые системы:

- рукавные фильтры;
- мокрые электростатические пылеуловители;
- электродинамические скрубберы Вентури;
- агломерационно-фильтрующие модули;
- ионизирующие скрубберы с водяным орошением.

Устройства доочистки также применяются для удаления капель (особенно мелких). Они, как правило, применяются в целях последующего предупреждения образования загрязняющих веществ, например, при избирательном каталитическом восстановлении.

7.2.2 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 3.

Таблица 3 — Оценка применимости систем доочистки дымовых газов

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Дополнительное сокращение содержания тяжелых металлов (унос с дымовых газов) с использованием этих подходов повышает их пригодность там, где требуется дополнительное сокращение их содержания
Диапазон размеров предприятий	Крупные предприятия с большим потоком дымовых газов могут достичь большего сокращения выбросов при применении подобных подходов
Новые/действующие предприятия	Применяется на новых и действующих предприятиях. Поскольку подход применяется в конце технологического процесса — он хорошо подходит для использования при модернизации предприятий там, где требуется сокращение содержания пыли. Действующие предприятия, на которых уже достигнуты низкие уровни выбросов (<10 мг/м^3 среднесуточное) с помощью других средств, не могут извлечь большую пользу из добавления этого метода
Межтехнологическая совместимость	Необходимо контролировать температурный режим и точку росы кислоты. Обеспечивает эффективную очистку газа до избирательного каталитического восстановления
Ключевые факторы	Ограничением может послужить отсутствие свободных площадей для установки дополнительной технологической единицы

7.2.3 Подход применяется там, где:

- законодательство устанавливает низкие предельные значения выбросов пыли (связанных пылью) тяжелых металлов или в тех случаях, когда необходимо дополнительное сокращение содержания диоксинов и кислых газов;

- существуют местные проблемы с качеством воздуха, которые могут быть разрешены при применении подхода;
- используется в качестве этапа обеспыливателя для последующего процесса SCR.

7.2.4 Наиболее значимые комплексные воздействия на окружающую среду при реализации этого подхода:

- потребление энергии за счет перепада давления в рукавных фильтрах;
- образование твердого осадка (можно пренебречь, если цель — доочистка).

7.2.5 Достигаемые экологические преимущества

Дополнительное сокращение выбросов в атмосферу после других компонентов системы очистки дымовых газов рассмотрено в таблице 4.

Таблица 4 — Уровни выбросов пыли при использовании рукавных фильтров для доочистки дымовых газов

Достижимые уровни содержания пыли в выбросах	Диапазон эффективности сокращения уровня выбросов пыли, %
Усредненный показатель для 30 мин, мг/м^3	< 30
Среднесуточный показатель, мг/м^3	0,04—5
Среднегодовой показатель, мг/м^3	< 0,5
Примечание — Точный итоговый уровень выбросов будет зависеть от входного уровня на заключительном этапе пылеудаления (который сам зависит от производительности более ранних стадий) и эффективности заключительного этапа пылеудаления. Приведенные здесь цифры могут служить ориентиром для определения уровня выбросов, как правило, имеющих место при добавлении этапа доочистки.	

В дополнение к сокращению содержания пыли могут быть сокращены выбросы в атмосферу:

- тяжелых металлов: их концентрация в выбросах, как правило, связана с эффективностью пылеудаления;
- ртути и PCDD/F: если в качестве абсорбента на рукавные фильтры добавляется уголь (как правило, со щелочным реагентом);
- кислых газов: если щелочные реагенты добавляются для защиты рукавных фильтров.

Польза от этих дополнительных сокращений содержания вредных веществ в выбросах может быть невелика там, где до них уже применялись технологии, которые сокращают их концентрацию в дымовых газах до низкого уровня.

7.3 Применение двойной рукавной фильтрации

7.3.1 Подход предусматривает в системе газоочистки последовательное применение двух рукавных фильтров, которые необязательно расположены в непосредственной близости друг от друга: например, между ними могут быть задействованы другие компоненты системы очистки дымовых газов. Данный подход не учитывает ситуацию, когда рукавные фильтры сочетаются с нерукавными фильтрами, например с электростатическим пылеуловителем, центробежным сепаратором, скруббером с водяным орошением и т. д.

7.3.2 Подход может быть применен к любому процессу сжигания, однако наиболее применим в тех случаях, когда требуется достижение очень низких предельно допустимых показателей выбросов или требуется разделение компонентов отходов, образовавшихся в системе очистки дымовых газов.

Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 5.

Таблица 5 — Оценка применимости двойной фильтрации

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Любой
Диапазон размеров предприятий	Крупные предприятия с большим потоком дымовых газов могут достичь большего сокращения выбросов при применении подобных подходов
Новые/действующие предприятия	На новых и действующих предприятиях. Для модернизации существующих установок на конце технологического процесса. Действующие предприятия, на которых уже достигнуты низкие уровни выбросов (< 10 мг/м^3 среднесуточно) с помощью других средств, не могут извлечь большую пользу из добавления этого метода
Межтехнологическая совместимость	Необходимо контролировать температурный режим и точку росы кислоты. Обеспечивает эффективную очистку газа до избирательного каталитического восстановления
Ключевые факторы	Требует больших площадей для реализации. Наличие промышленных предприятий, которые могут использовать соли в качестве вторичных материальных ресурсов

7.3.3 Подход чаще всего применяют там, где требуется достижение низких уровней выбросов пыли (например, менее 2 мг/м^3) и рассматривают возможность использования соли в качестве вторичного материального ресурса.

7.3.4 При реализации этого подхода наиболее значимыми комплексными экологическими воздействиями являются:

- более высокое потребление энергии за счет перепада давления в системе очистки дымовых газов в целом;
- образование твердых остатков/отходов, как правило, отделенных от других отходов дымовых газов.

Дополнительное потребление энергии при использовании двух рукавных фильтров, расположенных последовательно (даже в случае их разделения), хотя и предоставляет некоторые потенциальные преимущества с точки зрения дополнительной фильтрации загрязняющих веществ, требует более мощных вентиляторов для преодоления перепада давления и, следовательно, приводит к более высокому энергопотреблению.

7.4 Выбор материалов рукавного фильтра

7.4.1 Выбранный фильтрующий материал должен подходить для физико-химических условий, при которых он будет использоваться.

Основные характеристики тканей для использования в фильтрации газа включают: максимальную рабочую температуру; стойкость к воздействию кислот и щелочей, прочность на изгиб (вследствие необходимости очистки фильтров). Следует учитывать, что при гидролизе влажность газа может повлиять на прочность и постоянство размеров ткани. Несколько основных свойств волокна приведены ниже, некоторые из них могут быть покрыты или пропитаны специальными химическими веществами (например, серой).

7.4.2 Повышение температуры может привести к плавлению любых пластиковых компонентов в ткани и возможности ее возгорания. Высокая влажность дымовых газов может привести к слипанию фильтрующих материалов и блокировке фильтра. Покрытие листами/пленкой из политетрафторэтилена может использоваться для улучшения удаления из фильтра подобных липких солей и твердых частиц.

7.4.3 На заводах по сжиганию твердых бытовых отходов (ТБО) основными фильтровальными материалами являются: полиимид (P84), полифениленсульфид (редко), политетрафторэтилен (PTFE), стекловолокно с покрытием из политетрафторэтилена или без него. Некоторые материалы можно использовать совместно, например P84+PTFE для более высокой устойчивости при высоких температурах.

7.4.4 Химические реакции в абсорбирующих материалах могут повлиять на рабочую температуру газоочистки; также имеет значение качество сетки и волокна.

7.5 Сокращение выбросов кислых газов

Кислые газы (например, HCl, HF и SO_x) обычно извлекают из дымовых газов с помощью щелочных реагентов. Применяются следующие технологии очистки кислых газов: сухие технологические; полумокрые или полусухие технологические; мокрые технологические.

7.5.1 Сухие технологические процессы

Сухой сорбент (например, известь, бикарбонат натрия) добавляют в дымовые газы. Продукт реакции также является сухим.

7.5.2 Полумокрые или полусухие технологические процессы

Сорбент, добавляемый в дымовые газы, представляет собой водный раствор (например, в виде известкового молока) или суспензию (например, в виде кашицы). Водный раствор испаряется, и продукты реакции оказываются сухими. Образовавшиеся твердые отходы могут быть снова направлены в производственный процесс для повышения эффективности использования реагентов. Подмножеством этого подхода являются технологии быстрой сушки, которые представляют собой впрыск воды (для быстрого охлаждения газа) и реагента на входе фильтр.

7.5.3 Мокрые технологические процессы

Дымовые газы подают в воду, перекись водорода и/или моющий раствор, содержащий часть реагента (например, раствор гидроксида натрия). Продукт реакции является водонасыщенным.

7.5.3.1 Мокрые системы газоочистки

7.5.3.1.1 Мокрые технологии очистки дымовых газов предполагают использование различных типов скрубберов, в том числе:

- форсуночные скрубберы;
- центробежные скрубберы;
- скрубберы Вентури;
- сухие башенные скрубберы;
- скрубберы с орошаемой насадкой;
- насадочные скрубберы башенного типа.

Сточные воды скрубберов (в случае, если использовалась только вода) являются очень кислыми (водородный показатель составляет обычно 0—1) за счет кислот, образующихся в процессе осаждения. На первом этапе использования скруббера с водяным орошением извлекаются в основном HCl и HF. Жидкие отходы первого этапа многократно используются в качестве вторичных материальных ресурсов с добавлением небольших объемов воды и отбора из скруббера для поддержания эффективности удаления кислого газа. В этой кислой среде осаждение SO_2 низкое, поэтому для его удаления необходим второй скруббер.

Удаление диоксида серы достигается на этапе промывки дымовых газов при добавлении раствора каустической соды или известкового молока и водородном показателе, близком к нейтральному или щелочному (обычно 6—7). По техническим причинам осаждение SO_2 происходит на отдельном промывочном этапе одновременно с дальнейшим удалением HCl и HF.

Если обрабатываемые отходы содержат бром и йод, эти элементы могут быть осаждены из дымовых газов при одновременном сжигании серосодержащих отходов. При этом, кроме соединений серы, образуются растворимые в воде соли брома и йода, которые могут быть осаждены на этапе осаждения SO_2 при мокрой очистке дымовых газов. Кроме того, осаждение элементарного брома и йода может быть улучшено путем целенаправленного применения восстановительного этапа промывки (сульфитный раствор, бисульфитный раствор). В любом случае следует идентифицировать в отходах наличие йода или брома.

Если в качестве нейтрализующих агентов на этапе мокрой очистки дымовых газов используется известковое молоко или известняк, в качестве нерастворимого в воде остатка будут накапливаться сульфат (гипс), карбонаты и фториды. Эти вещества следует удалять в целях уменьшения содержания солей в сточных водах и снижения риска коркообразования в очистной системе; отходы процесса очистки (например, гипс) могут быть использованы в качестве вторичных материальных ресурсов. При использовании раствора каустической соды такая опасность отсутствует, потому что продукты реакции растворимы в воде. Если используется NaOH, может образоваться $CaCO_3$ (в зависимости от жесткости воды), который снова приведет к образованию отложений в скруббере. Эти отложения должны периодически удаляться посредством подкисления.

Применение скрубберов с водяным орошением, как правило, включает не менее двух этапов; на первом — при низком водородном показателе удаляются в основном HCl и HF, на втором — вносится

известь или гидроксид натрия и водородный показатель должен составлять 6—8 в первую очередь для удаления SO_2. Мокрые системы газоочистки иногда могут трехстадийными (или состоящие из большего количества стадий); при этом стадии обычно являются дополнениями к первой стадии с низким водородным показателем, применяемым для конкретных целей.

7.5.3.1.2 Основные проблемы использования мокрых систем очистки дымовых газов:

- образование PCDD/F в скрубберах с водяным орошением может представлять собой проблему, в частности при техническом обслуживании и в периоды запуска, и может потребовать принятия конкретных дополнительных мер;
- очистка сточных вод требует высококвалифицированного персонала для достижения низкого уровня сбросов;
- для повышения эффективности скрубберов с водяным орошением следует проводить обработку дымовых газов, которые уже подверглись обеспыливанию с использованием, например, электростатических пылеуловителей или рукавных фильтров;
- гибкость мокрой очистки при изменении входной концентрации относится в основном к HCl и HF. Для достижения предельных значений выбросов ртути иногда необходима дополнительная обработка, например: введение модифицирующей добавки в основной скруббер, введение активированного угля в кислотный скруббер; введение окислителя или устранение газообразных отходов с помощью адсорбента.

7.5.3.1.3 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 6.

Таблица 6 — Оценка применимости мокрых систем очистки дымовых газов

Критерии	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Применим к большинству видов отходов. Подходит для поступающих газов с сильно отличающимся составом (например, опасные отходы)
Диапазон размеров предприятий	Не ограничен, но обычно применяют на средних и крупных предприятиях, где существует экономия на масштабах
Новые/действующие предприятия	Широко применяют на многих действующих предприятиях
Межтехнологическая совместимость	Низкая температура дымовых газов на выходе (около 70 °С) требует подогрева для эффективного применения последующих систем очистки дымовых газов, например рукавных фильтров и избирательного каталитического восстановления. Возможно отдельное (предварительное) извлечение зольной пыли
Ключевые факторы	Повышенная видимость дымового шлейфа (если не приняты предупреждающие меры). Солевые сточные воды (после обработки) требуют сброса (или испарения, которое требует энергии). Может позволить восстановление соляной кислоты, соли, типса

7.5.3.1.4 Подход применяют там, где:

- затраты на удаление отходов газоочистки высоки;
- состав поступающих отходов трудно предсказать/проконтролировать;
- поступающие отходы могут содержать высокие и переменные концентрации кислых газов или тяжелых металлов (например, ионной ртути);
- сточные воды, содержащие соль, могут быть сброшены в водные объекты.

7.5.3.1.5 При реализации этого подхода наиболее значимыми комплексными воздействиями на окружающую среду по сравнению с другими подходами являются:

- минимальные показатели расхода реагента;
- минимальные объемы образования твердых отходов;
- высокий расход воды;
- образование сточных вод, требующих надлежащего обращения;
- повышенная видимость дымового шлейфа;

- образование PCDD/F (эффект памяти) на полимерных компонентах скруббера требует применения соответствующих мер.

7.5.3.1.6 Сокращение выбросов в атмосферу представлено в таблице 7.

Таблица 7 — Уровни выбросов при использовании скрубберов с водяным орошением

Вещество	Достигнутый уровень выбросов				Примечание
	среднечасовой, мг/м^3	среднесуточный, мг/м^3	среднегодовой, мг/м^3	удельное значение, г/т отходов на входе	
HCl	0,1—10	< 5	0,1—1	1—10	Очень стабильные концентрации на выходе
HF	< 1	< 0,5	От 0,1 до 0,5	От 0,05 до 2	Очень стабильные концентрации на выходе
SO_2	< 50	< 20	< 10	От 5 до 50	Требуется стадия прохождения реакции и абсорбент (известь или NaOH) Четырехчасовые колебания содержания SO_2 могут быть выше

7.5.3.1.7 Мокрые системы очистки дымовых газов обеспечивают наивысшую эффективность удаления растворимых кислых газов по сравнению с другими системами очистки дымовых газов при наименее избыточных стехиометрических коэффициентах.

Если при применении одноступенчатых систем очистки дымовых газов (например, полумокрых, сухих) все образующиеся отходы собираются, то этот подход, как правило, не используется в мокрых системах очистки дымовых газов. При использовании мокрых систем HCl, HF и SO_2 могут обрабатываться отдельно от твердых частиц и пр., которые часто удаляются раньше. Таким образом, мокрые системы газоочистки позволяют сократить содержание:

- пыли: при достаточной большой емкости скруббера, позволяющей предотвратить его засорение (чаще всего для сокращения пылевой нагрузки и предотвращения эксплуатационных проблем до применения скруббера с водяным орошением используется предварительное обеспыливание, позволяющее удалить до 50 % пыли на входе);
- PCDD/F: при использовании скруббера и углесодержащих фильтровальных материалов можно достичь сокращения на 70 %, в противном случае доля удаленных веществ незначительна. В этих целях в скруббер могут быть добавлены активированный уголь или кокс;
- Hg^{2+}: если на первой стадии газоочистки используется скруббер с низким водородным показателем и концентрация HCl в отходах обеспечивает подкисление на этой стадии, то возможно удаление $HgCl_2$; однако металлическая ртуть, как правило, при этом не удаляется;
- других загрязняющих веществ: если в неочищенном газе присутствуют водорастворимые загрязняющие вещества, например, бром или йод, они могут сконденсироваться при низких температурах в скруббере и, таким образом, попасть в сточные воды скруббера.

7.5.3.2 Системы полумокрой газоочистки

7.5.3.2.1 Системы полумокрой газоочистки также называют полусухими технологическими процессами. При струйной абсорбции абсорбент вводят в виде суспензии или раствора в горячие дымовые газы в камере увлажнения.

В этом технологическом процессе используют тепло дымовых газов для испарения растворителя (воды). Образующиеся отходы являются твердыми и должны извлекаться из дымовых газов в виде пыли на последующем этапе, представляющем собой, как правило, рукавный фильтр. Эти технологии обычно требуют превышения дозы сорбента в 1,5—2,5 раза.

В данном случае важной частью этого процесса также является тканевый фильтр. При применении этого подхода дымовой шлейф также редко виден.

Также применяется подход, который находится между сухим и полумокрым. Его иногда называют технологией быстрой сушки. Этот подход предполагает повторное помещение в входящие дымовые газы определенного количества твердых веществ, собранных рукавным фильтром. С регулируемой скоростью вода добавляется в собранную зольную пыль, чтобы убедиться, что она остается сыпучей и

не проявляет склонности к слипанию или образованию отложений. Не требуется перекачка шламовой пульпы (как при применении полумокрых систем) и не образуются сточные воды (как при применении мокрых систем).

Повторное использование реагента сокращает потребность в реагенте и объемы образования твердых отходов. Стехиометрическое соотношение чаще всего находится в диапазоне от 1,5 до 2. Повторное использование реагента может применяться и в сухих, и в полумокрых системах.

Полумокрая система очистки дымовых газов часто применяется как одноэтапно, так и в нескольких реакторах. Такие системы обычно имеют более низкое энергопотребление, чем более сложные многоэтапные системы очистки дымовых газов.

Большинство систем состоит только из смесительной установки для реагентов (реагент плюс вода) и башни с распылительным орошением, далее следует рукавный фильтр; система менее сложная по сравнению с мокрой системой очистки дымовых газов.

Перемещение и дозирование реагента требует надлежащего обращения для обеспечения эффективной и оптимизированной работы, особенно при обработке разнородных видов отходов, например на коммерческих заводах по сжиганию опасных отходов. Входной контроль содержания HCl улучшает оптимизацию дозирования реагента в этих системах и позволяет обращаться с пиковыми нагрузками HCl, HF, SO_2 без высоких норм дозирования реагента.

Рукавные фильтры требуют тщательного контроля для разрешения проблем с их повреждением и последующими утечками. Индикаторы перепада давления, как правило, используются для выявления повреждений фильтров и отслеживания технологического процесса в целом.

В рукавных фильтрах следует соблюдать неукоснительно температурные требования в целях предотвращения установления коррозионной точки росы; как правило, на входе используется температура газа свыше 130 °С — 140 °С. При температуре ниже 130 °С могут возникнуть проблемы из-за гигроскопичности образовавшегося $CaCl_2$; для оптимальных условий реакции требуется поддержание определенной температуры реагентов.

При использовании полумокрых систем газоочистки могут возникнуть эксплуатационные нарушения при очистке неочищенного газа с высоким содержанием кислоты, так как это может привести к увеличению риска засорения фильтра.

Сложность эксплуатации рукавных фильтров, используемых в полусухих системах, может быть снижена за счет использования предварительного обеспыливания, например, посредством использования одностадийного электростатического пылеуловителя или использования не липких фильтровальных материалов в рукавных фильтрах. Это позволяет предотвратить приваривание цинка и его соединений (и аналогичных солей с низкой температурой плавления), а также образование липкого слоя гигроскопичных солей на поверхности реактора.

7.5.3.2.2 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 8.

Таблица 8 — Оценка применимости полумокрых систем очистки дымовых газов

Критерий	Оценка/примечание
Вид отходов	Подходит для большинства видов отходов. Как правило, хуже справляется с сильно различающимися концентрациями в поступающих отходах, чем скрубберы с водяным орошением
Диапазон размеров предприятий	Применяют на всех предприятиях всех размеров
Новые/действующие предприятия	Применяют на новых установках и при модернизации старых
Межтехнологическая совместимость	Низкая температура дымовых газов на выходе (около 170 °С) требует подогрева для последующих систем очистки дымовых газов, например SCR. Возможно отдельное (предварительное) извлечение зольной пыли. Рукавные фильтры обеспечивают эффективную очистку газов перед последующим применением SCR или мокрой очистки (если используются в качестве предварительного пылеуловителя)
Ключевые факторы	Сточные воды не образуются. Наличие возможностей/стоимость удаления твердых отходов

7.5.3.2.3 Подход применяют там, где:

- обрабатываемые отходы не вызывают образования чрезмерно загрязненных дымовых газов или дымовых газов со слишком сильно меняющимся составом;
- доступны способы удаления образовавшихся твердых остатков/отходов;
- нежелательно образование сточных вод;
- ограничено водопотребление, поскольку расход воды при этом подходе ниже;
- недоступна или ограничена инфраструктура для обращения со сточными водами, например, в отдаленных сельских районах или при сухом климате;
- низкая видимость дымового шлейфа при применении таких систем также может быть определенным преимуществом там, где имеется повышенная чувствительность к визуальным воздействиям.

7.5.3.2.4 При реализации этого подхода наиболее значимым комплексным воздействием на окружающую среду являются объемы образования остатков/отходов, которые выше, чем в мокрых системах.

Извлечение зольной пыли возможно, если этой системе предшествовали электростатические пылеуловители. Разделение зольной пыли и отходов, образовавшихся в системе очистки дымовых газов, может быть полезно, если для этих видов отходов существуют различные варианты обработки/использования в качестве вторичных материальных ресурсов.

7.5.3.2.5 Сокращение выбросов в атмосферу приведено в таблице 9.

Таблица 9 — Уровни выбросов при использовании скрубберов с водяным орошением

Вещество	Достигнутый уровень выбросов				Примечание
	усредненный показатель за 30 мин, мг/м^3	среднесуточный показатель, мг/м$^{-1}$	среднегодовой показатель, мг/м^3	удельное значение, г/т отходов на входе	
HCl	< 50	3—10	2	4—10	Самые низкие значения достигнуты при более высокой дозировке реагента и регулируемом управлении. Пиковые значения могут быть компенсированы с помощью установленного ранее анализатора HCl. Полумокрый процесс позволяет улавливать SO_2, HCl и HF
HF	< 2	< 1	< 0,5	< 2	
SO_2	< 50	< 20	< 10	5—50	

7.5.3.2.6 При использовании полумокрых скрубберов сбросы сточных вод не осуществляются, так как количество используемой воды, как правило, ниже, чем при использовании скрубберов с водяным орошением, а используемая вода испаряется с дымовыми газами. Другие сточные воды предприятия (например, ливневые стоки) подходящего качества можно направить в систему очистки дымовых газов.

Полумокрые системы очистки дымовых газов обеспечивают высокую эффективность удаления растворимых кислых газов. Низкий уровень предельных показателей выбросов достигается посредством регулирования дозирования реагентов и выбора мест их внесения; однако это связано с увеличением потребления реагентов и объема образования отходов.

В полумокрых системах используются тканевые фильтры для удаления добавленных реагентов и продуктов их реакций. Реагенты (например, активированный уголь для удаления ртути и PCDD/F), за исключением щелочных, можно добавлять для адсорбции других компонентов дымовых газов.

Чаще всего полумокрые системы газоочистки используются в качестве одноступенчатого реактора для комбинированного сокращения выбросов:

- пыли, которая отфильтровывается с помощью тканевого фильтра;
- PCDD/F, который адсорбируется активированным углем и щелочными реагентами;
- ртути, которая адсорбируется активированным углем и щелочными реагентами.

7.5.3.3 Промежуточные системы с некоторым добавлением воды и рециркуляцией отходов (импульсные сухие системы)

7.5.3.3.1 Подход имеет элементы как полусухой, так и сухой системы, и в основном характеризуется малым добавлением воды и большой долей рециркулируемых отходов.

Этот подход применяется, как правило, в том случае, если в качестве реагента используется только известь.

7.5.3.3.2 Дозировка введения реагентов и скорость отбора образующихся отходов для их последующей рециркуляции требуют оптимизации работы системы в целях предотвращения забивания адсорбента и последующего прорыва загрязняющих веществ (например, ртути и PCDD/F, адсорбированных на уголь).

Для поддержания эффективности адсорбции кислых газов требуют контроля уровни влажности.

Контроль содержания HCl на более раннем этапе используется для оптимизации дозировки щелочного реагента/воды.

7.5.3.3.3 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 10.

Таблица 10 — Оценка применимости импульсных сухих систем очистки дымовых газов

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Все виды отходов, кроме тех, в которых концентрации загрязняющих веществ при поступлении очень различаются, например, как в коммерческих (перепродаваемых) опасных отходах. Применяют к ТБО, топливу, полученному из отходов, древесным отходам
Диапазон размеров предприятий	Применяют на малых и средних заводах вследствие необходимости использования фильтров большего размера (для размещения рециркулированных отходов)
Новые/действующие предприятия	Особые ограничения отсутствуют. Фильтр должен быть больше, чем в других системах, чтобы иметь возможность принять рециркулированные отходы
Межтехнологическая совместимость	Может обеспечивать предварительное обеспыливание для системы избирательного каталитического восстановления. Может использоваться совместно с избирательным не каталитическим восстановлением
Ключевые факторы	Занимаемая площадь невелика. Менее применимо, если уже есть способы обработки/использования в качестве вторичных энергетических ресурсов или вторичных инертных материалов для извлеченной зольной пыли

7.5.3.3.4 Этот подход применяется там, где:

- требуется сократить расход реагентов;
- требуется сократить образование остатков/отходов;
- ограничено свободное пространство;
- является проблематичным усложнение процесса.

7.5.3.3.5 При реализации этого подхода наиболее значимые комплексные воздействия на окружающую среду:

- образование твердых остатков/отходов;
- энергопотребление за счет падения давления при использовании рукавного фильтра.

7.5.3.3.6 Сокращение выбросов в атмосферу показано в таблице 11.

Таблица 11 — Уровни выбросов при использовании импульсных сухих систем очистки дымовых газов

Вещество	Диапазон эффективности сокращения, %	Достигнутый уровень выбросов				Примечание
		средний в течение 30 мин, мг/м^3	среднесуточный, мг/м^3	среднегодовой, мг/м^3	удельное значение, г/т отходов на входе	
HCl	> 99	< 10	< 6	2,9	10—30	Стабилен вследствие высокой скорости циркуляции
HF	> 99,5	< 2	< 1	< 0,5	1—5	Стабилен вследствие высокой скорости циркуляции
SO_2	> 99	< 50	< 5	< 1	5—10	Стабилен вследствие высокой скорости циркуляции

7.5.3.3.7 Этот процесс в сочетании с использованием рукавных фильтров и добавлением реагентов также предусматривает сокращение выбросов:

- пыли и связанных ею тяжелых металлов (до 0,4—2 мг/м^3);
- ртути (с добавлением угля — до 0,002—0,015 мг/м^3);
- PCDD/F (с добавлением угля — до 0,005—0,1 нг/м^3).

7.5.3.3.8 Рециркуляция реагентов, обычно используемая в этой системе, имеет следующие преимущества перед другими системами очистки дымовых газов:

- снижение расхода реагентов (в сухих и полумокрых системах);
- сокращение образования твердых отходов (содержащих меньшее количество непрореагировавших реагентов);
- сокращение расхода воды и отсутствие сточных вод (по сравнению с мокрыми системами).

7.5.3.4 Системы сухой очистки дымовых газов

7.5.3.4.1 В сухих сорбционных процессах сорбент (обычно известь или бикарбонат натрия) подается в реактор в виде сухого порошка. Доза реагента зависит от температуры и типа реагента. В случае извести эта доза, как правило, в 2—3 раза превышает стехиометрическое количество вещества, подлежащего извлечению; в случае бикарбоната натрия это соотношение ниже. Это необходимо для соблюдения ограничений на количество выбросов при неравномерности концентраций на входе. Образующиеся твердые отходы реакции следует извлекать из дымовых газов в виде пыли на последующем этапе газоочистки, представляющем собой, как правило, рукавный фильтр.

Передозировка извести (или других реагентов) приводит к соответствующему увеличению объемов образования отходов, если реагент впоследствии повторно не используется для достижения соответствующего уменьшения стехиометрического соотношения.

При отсутствии предварительной стадии осаждения (например, с помощью электростатического пылеуловителя) частицы удаляются с использованным реагентом и продуктами реакции. Корка реагента, формируемая на тканевых фильтрах, обеспечивает эффективный контакт между дымовым газом и абсорбентом.

При применении этого подхода дымовой шлейф редко виден.

Известь (например, гидратная известь, молотая негашеная известь) и бикарбонат натрия обычно используются в качестве щелочных реагентов. Добавление активированного угля обеспечивает сокращение содержания ртути и PCDD/F посредством их абсорбирования.

При введении молотого бикарбоната натрия в горячие газы (свыше 140 °С) происходит его преобразование в карбонат натрия с высокой пористостью, являющегося эффективным абсорбентом кислого газа.

7.5.3.4.2 Использование этого подхода связано с увеличением:

- расхода реагентов по сравнению с мокрыми системами очистки дымовых газов;
- расходов на удаление отходов по сравнению с другими системами очистки дымовых газов.

В то же время достигается экономия за счет отсутствия сточных вод.

7.5.3.4.3 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 12.

Таблица 12 — Оценка применимости сухих систем очистки дымовых газов

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Применяют ко всем видам отходов
Диапазон размеров предприятий	Современные сухие системы применяют на предприятиях всех размеров
Новые/действующие предприятия	Без ограничений
Межтехнологическая совместимость	Более высокие рабочие температуры делают процесс хорошо пригодным для комбинирования с последующим избирательным каталитическим восстановлением
Ключевые факторы	Низкая видимость дымового шлейфа. Сточные воды не образуются. Образование отходов обработки/удаления требует проведения соответствующих мероприятий

7.5.3.4.4 При реализации этого подхода наиболее значимым комплексным воздействием на окружающую среду является образование твердых отходов, как правило, в больших объемах, чем при использовании других систем (при равных условиях), хотя такое превышение может быть несколько уменьшено за счет рециркуляции отходов.

При использовании бикарбоната натрия твердые отходы более растворимы, чем при использовании извести, однако образуется их значительно меньше, чем в системах, предусматривающих использование сухой извести. Отходы использования бикарбоната в некоторых случаях могут обрабатываться и использоваться в качестве вторичных материальных ресурсов в химической промышленности.

Сухие реагенты должны перемещаться таким образом, чтобы предотвратить выбросы пыли, например, при загрузке в бункер.

Использование рабочих температур свыше 180 °С может привести к снижению производительности адсорбции PCDD/F и ртути (с помощью введенных угольных реагентов).

7.5.3.4.5 Достигаемые уровни выбросов сведены в таблицы 13 и 14.

Таблица 13 — Уровни выбросов при использовании систем очистки дымовых газов с использованием сухой извести

Вещество	Достигнутый уровень выбросов				Примечание
	средний в течение 30 мин, мг/м^3	среднесуточный мг/м^3	среднегодовой, мг/м^3	удельное значение, г/т отходов на входе	
HCl	< 60	< 10			
HF	< 4	< 1			
SO_2	< 200	< 50			

Таблица 14 — Уровни выбросов при использовании систем очистки дымовых газов с использованием сухого бикарбоната натрия

Вещество	Достигнутый уровень выбросов			
	средний в течение 30 мин, мг/м^3	среднесуточный, мг/м^3	среднегодовой, мг/м^3	удельные выбросы г/т отходов на входе
HCl	< 20	< 5		
HF	< 1	< 1		
SO_2	< 30	< 20		

7.5.3.4.6 Использование отходов реагента в качестве вторичных материальных ресурсов может в некоторой степени снизить эти комплексные воздействия на окружающую среду, но может привести к затруднениям в технологическом процессе в отношении системы дозирования реагентов.

7.5.3.5 Выбор щелочного реагента

7.5.3.5.1 Различные щелочные реагенты (и их комбинации) используются в системах очистки дымовых газов мусоросжигательных заводов.

Во всех типах систем газоочистки обычно используется известь в виде гидратной извести в сухих системах, в виде гашеной извести — в полумокрых системах, а также в виде молотой негашеной извести.

Бикарбонат натрия применяется в преимущественно сухих системах. Гидроксид натрия и известняк, как правило, применяются только в мокрых системах газоочистки. Преимущества и недостатки использования каждого из реагентов изложены в таблице 15.

Таблица 15 — Сравнение особенностей различных щелочных реагентов

Реагент	Преимущества	Примечания/другие данные	Недостатки
Гидроксид натрия	Высокая химическая активность с кислыми газами. Низкий расход. Низкий уровень образования твердых отходов	Высокая стоимость 1 кг реагента. Переменная стоимость (ежеквартально). Образуются растворимые соли. Очень агрессивное вещество. Запах при увлажнении	Используют только в мокрых системах
Известь	Средняя химическая активность (более высокая химическая активность с молотой негашеной известью). Возможность работы при высокой температуре с молотой негашеной известью. Низкая стоимость 1 кг реагента. Низкая растворимость отходов. Возможно восстановление гипса из скрубберов с водяным орошением	Перемещение может быть проблематичным, как и использование в качестве вторичного материального ресурса	Отходы извести, использованной в сухих, промежуточных и полусухих системах, являются сильно щелочными
Известняк	Средняя химическая активность. Низкая стоимость за 1 кг реагента. Низкая растворимость отходов. Возможно восстановление гипса из скрубберов с водяным орошением	Выбросы CO_2, которые должны выпускаться из скруббера HCl	На заводах по сжиганию ТБО широко не применяется. Используется в основном в мокрых системах. Иногда используется в системах с псевдоожиженным слоем
Бикарбонат натрия	Высокая химическая активность и с SO_2, и с HCl. Низкий расход (стехиометрическое соотношение — около 1,25). Низкий уровень образования отходов в зависимости от стехиометрического соотношения. Чистка и повторное использование отходов возможно и практикуется. Эффективность в широком диапазоне рабочих температур систем очистки дымовых газов (140 °С — 300 °С). Широкий диапазон рабочих температур и высокая эффективность применительно к SO_2 могут послужить повышению совместимости с системами избирательного каталитического восстановления. Не требуется внимание впрыску воды/влажности	Более растворимая часть образовавшихся отходов. Образующиеся растворимые твердые отходы может быть проблематично отправить на конечное размещение (однако можно использовать в химической промышленности). Более высокая стоимость 1 кг реагента, чем у извести. Требуется устройство дробления, которое может привести к проблемам вследствие загрязнения	10—15 кг/т ТБО, сожженных без образования золошлаковых отходов

7.5.3.5.2 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 16.

Таблица 16 — Оценка применимости различных щелочных реагентов

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	NaOH хорошо подходит для изменяющихся концентраций отходов на входе, например, для применения на заводах по сжиганию опасных отходов.
Диапазон размеров предприятий	По ценовой эффективности NaOH менее привлекателен для крупных предприятий, чем $CaCO_3$
Новые/действующие предприятия	Может быть применима к обоим
Межтехнологическая совместимость	NaOH используют только в мокрых системах
Ключевые факторы	Возможности удаления/использования в качестве вторичных материальных ресурсов применительно к образовавшимся отходам могут иметь большое значение. Цена и наличие реагентов на местном рынке могут быть важными факторами

7.5.3.5.3 Наиболее значимые факторы воздействия на окружающую среду, учитываемые при выборе реагента:

- объем образования отходов;
- возможности использования образовавшихся отходов в качестве вторичных материальных ресурсов за пределами предприятия;
- характер/состав отходов и его влияние на последующее удаление/использование в качестве вторичных материальных ресурсов и т. д.,
- образование сточных вод, содержащих растворимые соли, и обращение с ними.

7.5.3.5.4 Остатки хлоридов, образовавшиеся при удалении соляной кислоты из дымовых газов, хорошо растворимы.

7.5.3.6 Добавление скруббера с водяным орошением для доочистки дымовых газов после остальных систем очистки дымовых газов

Добавление конечной мокрой очистки дымовых газов является доочисткой после обработки в других системах, направленной на удаление кислых газов и т. д. Это, как правило, используют специально для сокращения выбросов HCl и SO_2, если они высоки или неравномерны.

7.5.3.7 Рециркуляция отходов, образовавшихся в системе очистки дымовых газов

7.5.3.7.1 Отходы, собранные рукавными фильтрами, использовавшимися в сухих, полумокрых и других (но не мокрых) системах очистки дымовых газов обычно содержат значительную долю непрореагировавших реагентов, предназначавшихся для обработки дымовых газов, а также зольную пыль и другие загрязняющие вещества, извлеченные из потока газа. Часть собранных отходов может быть использована в системе очистки дымовых газов.

7.5.3.7.2 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 17.

Таблица 17 — Оценка применимости рециркуляции отходов

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Все виды отходов, кроме тех случаев, когда концентрации на входе очень различаются, например, коммерческие (перепродаваемые) опасные отходы, если для этих загрязнителей не используется в сочетании с другой системой. В настоящее время применяется к ТБО, топливу, полученному из отходов, древесным отходам
Диапазон размеров предприятий	Без ограничений

Окончание таблицы 17

Критерий	Оценка применимости/примечание
Новые/действующие предприятия	Никаких особых ограничений. Фильтр должен быть больше, чем в других системах, чтобы иметь возможность принять рециркулированные отходы
Межтехнологическая совместимость	Совместимо с системами очистки дымовых газов, кроме мокрых
Ключевые факторы	Наличие площадей, необходимых для установки реактора большего размера

7.5.3.7.3 Подход применяют там, где требуется сократить:

- расход реагентов;
- образование остатков/отходов.

Альтернативой этому подходу, также сокращающей использование реагентов и образование отходов, является использование эффективных прямоточных систем. Эффективные прямоточные системы разработаны и эксплуатируются таким образом, что отработанные реагенты уже в значительной степени прореагировали (то есть осталось мало непрореагировавших реагентов) без последующей рециркуляции. Анализ отходов, образовавшихся в системе очистки дымовых газов, может производиться для определения соотношения между прореагировавшим и непрореагировавшим реагентом.

7.5.3.7.4 При реализации этого подхода наиболее значимые комплексные воздействия на окружающую среду:

- образование твердых остатков/отходов (хотя в меньших объемах, чем без рециркуляции);
- энергопотребление за счет использования рукавного фильтра.

Дозировка введения реагентов и темпы отбора отходов для рециркуляции требуют оптимизации для предотвращения забивания адсорбента и последующего прорыва загрязняющих веществ (например, ртути и PCDD/F, адсорбированных на уголь).

Уровни влажности требуют контроля для поддержания эффективности адсорбции кислых газов.

Контроль содержания HCl на более раннем этапе может быть использован для оптимизации дозировки щелочного реагента/воды.

Некоторые части системы очистки дымовых газов должны быть больше, чтобы позволить использовать дополнительные рециркулируемые материалы.

7.5.3.7.5 Рециркуляция реагентов в системе имеет следующие преимущества:

- снижение расхода реагентов (в сухих и полумокрых системах);
- сокращение образования твердых остатков/отходов (за счет сокращения объема не прореагировавших реагентов).

7.5.3.8 Непосредственное добавление щелочных реагентов в отходы (прямая десульфуризация)

7.5.3.8.1 Применяют только для систем с псевдоожиженным слоем.

Десульфуризация в псевдоожиженном слое может осуществляться путем помещения абсорбентов (например, кальция или соединений кальция/магния) непосредственно в камеру сжигания. При этом используются добавки: известняковая пыль, гидрооксид кальция и доломитовая мука. Подход может быть использован в сочетании с последующей десульфурацией дымовых газов.

Расположение струй и скорость впрыска влияют на распределение абсорбентов и, следовательно, на степень осаждения диоксида серы. Часть полученных продуктов реакции удаляется в последующих фильтрах, однако значительная часть оказывается в золошлаковых отходах. Таким образом, десульфурация может повлиять на качество золошлаковых отходов.

Идеальные условия для десульфуризации существуют в циклоидальных печах в связи с постоянным уровнем температуры.

Абсорбция (и адсорбция) загрязняющих веществ также может быть произведена в (циркулирующем) псевдоожиженном слое, то есть отходы и реагенты повторно пропускаются через камеру сгорания на высокой скорости. Повторное использование дымовых газов поддерживает движение газа на уровне выше минимально необходимого для сохранения псевдоожижения подушки топлива. Топливный материал извлекается с помощью рукавного фильтра. Закачка воды значительно сокращает расход абсорбентов (и, следовательно, объемы образования отходов).

Щелочной реагент реагирует в печи с кислыми газами, что сокращает количество кислой составляющей неочищенного газа при переходе к последующим этапам очистки дымовых газов.

Адсорбция в печи при высоких температурах гораздо более эффективна применительно к SO_2, чем к HCl; основные направления применения, таким образом, предполагают сжигание отходов с относительно высоким содержанием SO_2, например сжигание осадка сточных вод.

7.5.3.8.2 Основным преимуществом этого подхода является то, что он может способствовать сокращению коррозии в котле. Поскольку стехиометрическое соотношение достаточно высоко, оно не способствует улучшению общей производительности системы очистки дымовых газов.

7.5.3.8.3 При реализации этого подхода наиболее значимые комплексные воздействия на окружающую среду:

- расход реагентов в печи;
- влияние на качество золошлаковых отходов;
- изменение состава дымовых газов (соотношения SO_2/HCl) может влиять на производительность последующих этапов системы очистки дымовых газов, может изменить параметры PCDD/F и привести к коррозии в системе очистки дымовых газов.

Добавление извести влияет не только на качество золошлаковых отходов, но и на состав и электрическое сопротивление зольной пыли (т. е. там будет содержаться больше кальция и больше сернистых соединений и будет выше разбавление загрязняющих веществ увеличившимся объемом отходов, образовавшихся в системе очистки дымовых газов).

7.5.3.9 Использование контроля кислых газов для оптимизации процесса очистки дымовых газов

7.5.3.9.1 С помощью оперативного контроля содержания HCl в начале и/или в середине технологического процесса в системах сухой и полумокрой очистки дымовых газов можно настроить работу системы очистки дымовых газов таким образом, чтобы оптимизировать количество вносимого щелочного реагента с точки зрения образования выбросов. Подход, как правило, применяется в качестве дополнительного метода предотвращения образования пиковых концентраций и наряду с формированием слоя реагента на рукавных фильтрах также оказывает буферизирующий эффект на колебания реагента.

7.5.3.9.2 Этот подход не применяется в случае скрубберов с водяным орошением, поскольку рабочей жидкостью скруббера является вода и подача воды в скруббер с водяным орошением определяется скоростью ее испарения и отбора, а не первичной концентрацией соляной кислоты.

Измерения концентраций SO_2 помогают убедиться в наличии достаточных количеств реагента для обращения с SO_2 и, следовательно, послужить сокращению таких пиковых выбросов.

7.5.3.9.3 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 18.

Таблица 18 — Оценка применимости контроля неочищенного газа для оптимизации систем очистки дымовых газов

Критерий	Оценка/примечание
Вид отходов	Особенно подходит для сухих, полумокрых и промежуточных процессов очистки дымовых газов с высокой изменчивостью концентрации кислых газов в поступающих отходах
Диапазон размеров предприятий	Небольшие предприятия могут извлечь максимальную выгоду, поскольку неконтролируемые отходы могут оказывать большее влияние на производительность меньших систем
Новые/действующие предприятия	Подходит для новых и существующих процессов, но особенно подходит для модернизации, когда обращение с кислым газом может быть оптимизировано
Межтехнологическая совместимость	В основном применимо в сухих и полумокрых системах
Ключевые факторы	Отсутствуют особые ограничения

Этот подход обычно не требуется при использовании скрубберов с водяным орошением вследствие их большей гибкости по отношению к входной концентрации HCl.

Менее применим там, где отходы гомогенизированы и их качество оптимизировано посредством отбора, смешивания и предварительной обработки. Чаще всего применяется в случаях, когда контроль качества отходов на входе в печь ограничен.

7.6 Сокращение выбросов оксидов азота

Оксиды азота (NO_x) могут образовываться тремя способами:

- термические NO_x: во время горения часть азота воздуха окисляется до оксидов азота. Эта реакция происходит в заметных масштабах только при температуре свыше 1300 °С. Скорость реакции экспоненциально зависит от температуры и прямо пролорциональна содержанию кислорода;
- топливные NO_x: во время горения часть азота, содержащегося в топливе, окисляется до оксидов азота;
- образование NO_x при реакциях с участием или выделением свободных радикалов (быстро образовавшиеся NO_x): атмосферный азот может окисляться при реакции с радикалами CH с промежуточным образованием HCN. Этот механизм формирования имеет относительно малое значение при сжигании отходов.

7.6.1 Приоритетные методы сокращения образования оксидов азота

Объемы образования NO_x можно сократить, оптимизируя управление режимами работы печи:

- предотвращением подачи воздуха сверх необходимого (т. е. предотвращением поступления дополнительного азота);
- предотвращением использования чрезмерно высоких температур в печи (в том числе образования зон точечного перегрева).

7.6.1.1 Подача воздуха, формирование газовой смеси и температурный контроль

Тщательное распределение поступающего первичного и вторичного атмосферного воздуха с целью предотвращения скачкообразных перепадов температур, приводящих к образованию высокотемпературных зон и, следовательно, росту образования NO_x, является широко принятой и важной приоритетной мерой по сокращению образования NO_x.

Хотя для гарантированного окисления органических веществ, обеспечивающего низкие выбросы CO и летучих органических соединений, требуется достаточное количество кислорода, избыточная подача воздуха может привести к дополнительному окислению атмосферного азота, а также к образованию дополнительных NO_x.

Достижение эффективного смешивания газов и температурный контроль являются важными факторами.

7.6.1.2 Рециркуляция топочных газов

Этот метод предполагает замену около 10 % — 20 % вторичного воздуха, поступающего в зону горения с рециркулированными топочными газами. Сокращение образования NO_x достигается тем, что отправляемые на рециркуляцию дымовые газы имеют более низкую концентрацию кислорода и, следовательно, более низкую температуру на выходе, что приводит к снижению уровня оксида азота.

7.6.1.3 Добавление кислорода

Добавление чистого кислорода или обогащенного кислородом воздуха обеспечивает возможность предоставить кислород, необходимый для горения, сократив при этом поставку дополнительного азота, который может способствовать образованию дополнительных объемов NO_x.

7.6.1.4 Поэтапное сжигание

В некоторых случаях используется поэтапное сжигание. Оно предполагает сокращение содержания кислорода в первичной зоне сгорания и увеличению поступления воздуха (и, следовательно, кислорода) в более поздние зоны горения для окисления образующихся газов. Такие методы требуют эффективного смешивания газ/воздух в средней зоне, чтобы обеспечить поддержание уровня содержания CO (и других продуктов неполного сгорания) на низком уровне.

7.6.1.5 Добавление природного газа (пережигание)

Добавление природного газа в надрешеточную зону печи может быть использовано для сокращения выбросов NO_x при сгорании. Для мусоросжигательных заводов было разработано два подхода к использованию природного газа:

- пережигание. Этот метод является трехэтапным процессом, предназначенным для преобразования NO_x в N_2 путем введения природного газа в определенную зону пережигания, расположенную выше основной зоны горения;
- удаление NO_x с помощью метана. Этот метод предполагает введение природного газа непосредственно в основной блок сгорания для подавления образования NO_x.

7.6.1.6 Закачка воды в печь/пламя

Правильно спроектированный и эксплуатируемый впрыск воды в печь или непосредственно в пламя может быть использован для снижения температуры в зонах точечного перегрева в первичной зоне горения. Это может привести к сокращению образования NO_x термического происхождения.

Приоритетные меры, как правило, имеют большое значение для снижения образования оксидов азота на стадии горения, в основном они относятся к обращению с отходами и к их подготовке, и, в частности, к применяемым методам тепловой обработки. Как правило, применяется сочетание приоритетных мер и дополнительных методов для сокращения выбросов оксидов азота.

7.6.2 Дополнительные методы сокращения образования оксидов азота

В целях соблюдения среднесуточных норм выбросов NO_x (в форме NO_2) не более 200 мг/м^3, как правило, применяются дополнительные методы сокращения образования NO_x. Для большинства технологических процессов целесообразно применение аммиака и его производных (например, мочевины) в качестве восстановителя. Оксиды азота в дымовых газах в основном состоят из NO и NO_2 и с применением восстановителя преобразуются в азот N_2 и водяной пар.

Для удаления азота из дымовых газов в приоритном порядке следует использовать две технологии: избирательное некаталитическое восстановление и избирательное каталитическое восстановление.

Мочевина и NH_3 применяются в виде водных растворов. NH_3, как правило, из соображений безопасности поставляется в виде 25%-ного раствора.

7.6.2.1 Селективное каталитическое восстановление

Селективное каталитическое восстановление (SCR) является каталитическим процессом, при котором аммиак в смеси с воздухом (восстановитель) добавляется в дымовые газы и проходит через катализатор, обычно представляющий собой сетку (например, из платины, родия, TiO_2, цеолитов). При прохождении через катализатор аммиак реагирует с NO_x с образованием азота и водяного пара.

В целях повышения эффективности катализатора применяется температура от 180 °С до 450 °С. Большинство систем, используемых в установках для сжигания отходов в настоящее время, работают в диапазоне 230 °С — 300 °С. При температурах ниже 250 °С требуется больше катализатора и возрастает опасность засорения и порчи катализатора. В некоторых случаях используются перепускные клапаны, регулируемые температурой катализатора, что позволяет избежать повреждения блока SCR.

Технология SCR обеспечивает значительное сокращение содержания NO_x (как правило, более 90 %) при близком к стехиометрическому добавлении восстановителя. При сжигании отходов SCR применяется в основном для обработки «чистого» газа (после обеспыливания и удаления кислых газов). По этой причине дымовые газы, как правило, требуют повторного нагрева для достижения эффективной температуры реакции при SCR, что, в свою очередь, приводит к дополнительному энергопотреблению системы газоочистки. Если уровни содержания SO_x в дымовом газе уже сокращены до очень низкого значения на входе в зону SCR, то потребность в нагревании может быть существенно уменьшена или даже отсутствовать. Теплообменники используются для уменьшения дополнительной потребности в энергии.

После мокрой системы очистки дымовых газов капли могут быть удалены, чтобы предотвратить отложения солей внутри катализатора. В связи с риском возгорания имеют важное значение меры безопасности, например наличие перепускных клапанов, контроль содержания CO и т. д.

Низкотемпературное SCR требует регенерации катализатора в связи с образованием солей (особенно хлорида и сульфата аммония). Регенерация может иметь решающее значение, потому что отгонка соли может привести к превышению применяемого предельного значения выбросов в атмосферу некоторых загрязняющих веществ, например HCl, SO_2, NO_x.

Зона SCR иногда расположена непосредственно после электростатических пылеуловителей, чтобы уменьшить или устранить необходимость разогрева дымовых газов. Когда используется подобный подход, следует учитывать дополнительную опасность образования PCDD/F в электростатическом пылеуловителе (как правило, когда электростатический пылеуловитель работает при температурах выше 220 °С — 250 °С). Это может привести к увеличению выбросов PCDD/F в отходы электростатических пылеуловителей и к их более высоким концентрациям в газовом потоке, выходящем из электростатического пылеуловителя и поступающем в блок SCR. Системы SCR могут использоваться для удаления PCDD/F. Многослойные системы SCR используются для одновременного удаления NO_x и PCDD/F.

Дымовые газы, выходящие из реактора, могут быть проведены через теплообменник газ-газ для подогрева входящего газа в целях поддержания рабочей температуры катализатора и сокращения энергозатрат.

При сжигании отходов SCR, как правило, применяется после этапов пылеудаления и очистки кислых газов; применительно к газу с высоким содержанием пыли/загрязняющих веществ этот подход используется в редких случаях. Дымовые газы обычно требуют подогрева после ранних стадий газо-

очистки дымовых газов для достижения рабочей температуры для системы SCR: обычно температура выхода из системы газоочистки составляет 70 °С для мокрой системы и 120 °С — 180 °С для большинства рукавных фильтров. Расположение модуля SCR непосредственно после «горячей» системы пылеудаления не принято, но используется на некоторых предприятиях в Европе, и помогает избежать подогрева дымовых газов во всей системе очистки дымовых газов.

Рабочие диапазоны температур для систем SCR находятся, как правило, в диапазоне 180 °С — 450 °С. Однако большинство систем работает при температуре 230 °С — 320 °С. Самая низкая рабочая температура обычно требуют более чистых дымовых газов на входе в модуль SCR. Концентрация SO_2 в дымовых газах может иметь решающее значение, поскольку они могут привести к порче катализатора.

Материал катализатора обычно состоит из носителя (TiO_2) с добавлением активных веществ (V_2O_5 и WO_3).

Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 19.

Таблица 19 — Оценка применимости SCR

Критерий	Оценка применимости/Примечание
Вид отходов	Применим к любым видам отходов
Диапазон размеров предприятий	Применим на предприятиях любого размера, но чаще всего применяется на средних и крупных заводах по экономическим причинам
Новые/действующие предприятия	Часто применяют в качестве завершающего процесса, который может быть применен на новых и существующих предприятиях
Межтехнологическая совместимость	Требует предварительного обеспыливания дымовых газов, также может требовать удаления SO_2/SO_3 и HCl. Минимальная температура на входе, необходимая для работы. Использование избирательного каталитического восстановления может привести к сокращению выбросов оксидов азота без применения дополнительных методов, если применяются менее строгие предельные значения выбросов
Ключевые факторы	Места с высокой чувствительностью к NO_X могут получить преимущество от дополнительного сокращения выбросов NO_X, достижимого при применении этого подхода. На предприятии необходимо пространство для размещения дополнительной технологической единицы

Подход применяется там, где:

- разрешенные значения NO_x установлены менее 100 мг/м^3;
- доля крупных предприятий в выбросах NO_x велика;
- платежи за выбросы NO_x установлены на уровне, делающем этот подход экономически выгодным;
- доступен пар под давлением для нагрева дымовых газов, что снижает эксплуатационные затраты в случае низкого дохода от производимой энергии.

При реализации этого подхода наиболее значимым комплексным воздействием на окружающую среду является высокий уровень энергопотребления, необходимого для повторного нагрева дымовых газов. Однако значение этого фактора можно уменьшить, если рабочая температура катализатора низка. В таких случаях регенерация катализатора (обычно за пределами предприятия) требует дополнительной энергии для регенерации катализатора посредством сублимации образовавшейся соли.

Расход энергии (и ее стоимость) на повторный нагрев, как правило, значительно снижается за счет использования теплообменника, использующего тепло газов, выходящих из модуля избирательного каталитического восстановления для нагрева поступающих в него газов. Потери энергии и, следовательно, дополнительное ее потребление, сводятся в таком случае к теплообмену и потерям на излучение. В случаях, когда существует спрос на горячую воду, дополнительной экономии можно достичь путем установки на выходе из модуля избирательного каталитического восстановления дополнительного теплообменника для рекуперации требуемой энергии.

Температура катализатора оказывает существенное влияние на скорость реакции. Оптимальный температурный диапазон для каталитического восстановления зависит от типа используемого ката-

лизатора, но обычно составляет от 200 °С до 350 °С. Другие типы катализаторов имеют более низкую оптимальную температуру.

Как правило, низкие рабочие температуры катализатора приводят к более медленной скорости реакции и возможному проскоку аммиака; при этом обработка NO замедляется с понижением температуры сильнее, чем NO_2. Более высокая температура приводит к сокращению срока службы катализатора и может привести к окислению NH_3, а также к образованию дополнительных оксидов азота.

Нижний предел температур систем избирательного каталитического восстановления, как правило, менее эффективен для разрушения PCDD/F и могут потребоваться дополнительные слои катализатора. Низкотемпературные системы обычно требуют чистых дымовых газов на входе, особенно важны низкие концентрации SO_2.

Низкая рабочая температура избирательного каталитического восстановления требует наличия автоматического устройства очистки, например золообдувателя. Требуется регулярная регенерация для удаления солей аммиака. Регенерация в низкотемпературных системах может требоваться каждые 1000 ч. При такой частоте это может стать проблемой, приведя к повышению уровня загрязнения в конечных дымовых газах применительно к HCl и SO_2.

Критерии для определения типа катализатора, который будет использоваться:

- температура дымовых газов;
- требуется сокращение содержания NO_x;
- допустимый проскок аммиака;
- допустимое окисление диоксида серы;
- концентрация загрязняющих веществ;
- срок службы катализатора;
- потребность в дополнительном разрушении газообразных PCDD/F;
- концентрация пыли в дымовых газах.

Срок использования катализаторов ограничивают:

- порча: когда активный центр катализатора заблокирован сильно связанным соединением;
- отложения: когда поры заблокированы мелкими частицами или сконденсировавшимися солями, такими как бисульфат аммония (NH_4HSO_4) — с этим можно бороться сокращением концентрации SO_x на входе, эффект частично обратим повторным нагревом катализатора;
- спекание: когда при слишком высоких температурах микроструктуры катализатора разрушаются;
- эрозия: из-за физических повреждений, вызванных твердыми телами и частицами.

Как правило, срок службы катализаторов составляет от трех до пяти лет.

Капли на выходе из системы газоочистки, которые вызывают отложение солей, считаются одним из важнейших факторов, увеличивающих скорость снижения эффективности катализатора.

Срок службы катализатора — это количество часов до того момента, когда катализатор не может обеспечить требуемое сокращение содержания NO_x без превышения максимального согласованного уровня проскока NH_3. Следовательно, при принятии решения о применении избирательного каталитического восстановления, следует согласовать предельные значения выбросов и для NO_x, и для NH_3.

Сокращение выбросов в атмосферу при использовании SCR приведено в таблице 20.

Таблица 20 — Уровни выбросов при использовании SCR

Вещество	Эффективность сокращения содержания, %	Достигнутые уровни выбросов				Примечание
		среднечасовой, мг/м^3	среднесуточный, мг/м^3	среднегодовой, мг/м^3	Удельные выбросы, кг/т отходов на входе	
NO_X	> 80%	15—220	15—100	15—100	0,15—0,60	
NH_3	Недоступно		< 10			
N_2O	Недоступно					Информация не предоставляется

Специально спроектированный (дополнительный слой катализатора, более высокая рабочая температура) модуль SCR также может каталитически уничтожать PCDD/F. Эффективность уничтоже-

ния PCDD/F составляет от 98 % до 99,9 %, обеспечивая выбросы PCDD/F в диапазоне 0,05—0,002 нг/м^3 токсического эквивалента.

Применение SCR обычно приводит к более низким уровням выбросов NO_x, чем применение других методов. Основными недостатками SCR являются высокие капитальные затраты и энергопотребление (как правило, природный газ, светлые нефтепродукты или пар высокого давления), которые необходимы для поддержки подогрева дымовых газов до температуры реакции катализатора. Правильный выбор систем, способных эффективно работать при нижней границе этого диапазона температур, и использование теплообмена, сокращают дополнительные потребности в энергии.

7.6.2.2 Селективное некаталитическое восстановление

При использовании технологии селективного некаталитического восстановления (SNCR) оксиды азота ($NO + NO_2$) удаляются посредством селективного некаталитического восстановления. При использовании этой технологии восстановитель (как правило, аммиак или мочевина) вводится в печь и реагирует с оксидами азота. Реакции происходят при температурах между 850 °С и 1000 °С, с зонами повышенной и пониженной скорости реакции в пределах этого диапазона.

Сокращение содержания NO_x более чем на 60 % — 80 % с использованием технологии SNCR требует добавления больших объемов восстановителя. Это может привести к выбросам аммиака, также известным как проскок аммиака.

Применение мочевины вместо аммиака при SNCR приводит к относительно большим выбросам N_2O по сравнению с использованием аммиака.

В целях обеспечения оптимального использования аммиака при различающихся загрузках, вызывающих изменения температуры в камере сгорания, NH_3 может быть введен в несколько слоев.

При использовании мокрой системы очистки избыток аммиака может быть удален в скруббере с водяным орошением. Аммиак может затем извлекаться из сточных вод скруббера и подаваться обратно в систему избирательного некаталитического восстановления.

Важное значение для оптимизации процесса SNCR имеют: эффективное смешивание дымовых газов и реагентов, предназначенных для сокращения содержания NO_x; время пребывания газа, достаточное для того, чтобы произошли реакции, необходимые для сокращения содержания NO_x.

В случае применения пиролиза и газификации оптимизация SNCR достигается путем введения реагента в зону горения синтез-газа с хорошо контролируемой температурой и эффективным смешиванием газа.

В процессе SNCR аммиак (NH_3) или мочевина [$CO(NH_2)_2$] подаются в печь в целях уменьшения выбросов оксидов азота. Аммиак наиболее эффективно реагирует с NO_x при температурах между 850 °С и 950 °С, хотя при использовании мочевины эффективны температуры до 1050 °С. Если температура слишком высока, конкурирующие реакции окисления образуют нежелательные NO_x. Если температура слишком низка или время пребывания недостаточно для реакции между NH_3 и NO_x, эффективность сокращения содержания NO_x снижается и могут возрасти выбросы остаточного аммиака: этот процесс называют проскоком NH_3. Некоторый проскок аммиака всегда происходит вследствие химической реакции. Дополнительный проскок NH_3 может быть вызван избытком реагента или плохо оптимизированным внесением реагента.

Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 21.

Таблица 21 — Сфера применения SNCR

Критерии	Оценка/примечание
Вид отходов	Любой
Диапазон размеров предприятий	Любой
Новые/действующие предприятия	В некоторых существующих установках расположение точек нагнетания может быть проблематичным
Межтехнологическая совместимость	Более высокие дозы могут быть использованы (и, следовательно, достигнуты более низкие выбросы NO_x) без утечек аммиака при использовании далее скрубберов с водяным орошением (которые поглощают избыток аммиака). В таких случаях средства для удаления аммиака могут потребоваться для сокращения содержания NH_3 в сточных водах — извлеченный NH_3 может быть повторно подан в систему избирательного некаталитического восстановления

Обычно максимальная эффективность сокращения содержания NO_x при применении этого подхода составляет около 75 %. Поэтому SNCR обычно не используется, когда необходимо более значительное сокращение содержания; как правило, оно может использоваться при уровне выбросов оксида азота ниже 100 м/м^3 (среднесуточное значение). Более высокие дозы реагентов, необходимые для достижения уровня сокращения содержания более 75 % приводят к тому, что для достижения утечки аммиака менее 10 мг/м^3 могут потребоваться дополнительные меры, например использование скрубберов с водяным орошением и последующее регулирование содержания аммиака в сточных водах.

Подход применяют там, где:

- допустимое среднесуточное предельное значение выбросов устанавливается между 100 и 200 мг/м^3;
- пространство недоступно для SCR;
- доступны подходящие места для введения реагента (включая их температурный режим).

Если допускается сброс богатых аммиаком сточных вод, использование этого подхода совместно с мокрыми системами очистки дымовых газов будет более экономичным, поскольку не будет никаких требований к удалению аммиака. Это не относится к другим системам очистки дымовых газов, при использовании которых не образуется сточных вод.

При реализации этого подхода наиболее значимые комплексные воздействия на окружающую среду:

- потребление энергии (менее чем при SCR);
- возможность образования N_2O (значительное влияние на глобальное потепление) и аммиака, если процесс SNCR не контролируется;
- расход реагента (более, чем при применении SCR);
- утечки аммиака могут привести к загрязнению отходов и сточных вод; возможно восстановление аммиака.

В системах очистки дымовых газов на основе извести, полусухих, сухих и промежуточных утечки NH_3 адсорбируются $CaCl_2$, образовавшимся при удалении HCl. Если осадок впоследствии попадает в воду, ионы NH_3 высвобождаются. Это может иметь последствия при обработке твердых отходов и их стабилизации цементом.

Сокращение выбросов в атмосферу приведено в таблице 22.

Таблица 22 — Выбросы в атмосферу при использовании технологии SNCR

Вещество	Эффективность сокращения содержания, %	Достигнутый уровень выбросов				Примечание
		среднечасовой, мг/м^3	среднесуточный, мг/м^3	среднегодовой, мг/м^3	удельное значение, г/т отходов на входе	
NO_X	30 % — 75 %	150—400	80—180	70–180	0,4—1,2	Зависит от дозирования, отходов и типа печи
NH_3	Недоступно		5—30	От 0,1 до 0,5	От 0,05 до 2	Самые низкие при использовании скрубберов с водяным орошением. См. примечание к таблице
N_2O	Недоступно		10—30	< 10	От 5 до 50	См. примечание к таблице

Примечания

1 Выбросы N_2O быстро растут с увеличением дозировки реагентов, необходимых для достижения уровня содержания NO_X ниже 120 мг/м^3.

2 Выбросы N_2O зависят от температуры реакции (печи) и задействованных реагентов. Как правило, более высоки выбросы N_2O при использовании мочевины, а не аммиака.

3 При использовании мочевины выбросы N_2O могут быть выше.

4 Для достижения большей эффективности сокращения содержания NO_X необходимы более высокие дозы реагента, которые могут привести к повышению проскока NH_3, который может быть потом абсорбирован последующей мокрой системой очистки дымовых газов, что, однако, потребует проведения мероприятий, вызванных его присутствием в сточных водах, например выпаривания NH_3.

Основным источником выбросов N_2O при SNCR является использование мочевины вместо аммиака (что приводит к увеличению выбросов N_2O в 2—2,5 раза). Чтобы сократить образование N_2O, важно оптимизировать выбор реагента (аммиака или мочевины), а также контролировать условия технологического процесса (особенно смешивание газа, температуру и проскок аммиака).

Применение SNCR также может способствовать сокращению образования PCDD/F.

7.6.2.3 Оптимизация выбора реагента для сокращения содержания NO_X при использовании селективного каталитического восстановления NO_X

Реагенты, используемые при SNCR, — аммиак и мочевина. Их преимущества и недостатки в этом качестве изложены в таблице 23. При выборе реагента необходимо учитывать различные особенности эксплуатации, стоимостные факторы и факторы производительности в целях выбора оптимального реагента для конкретной установки.

Таблица 23 — Преимущества и недостатки мочевины и аммиака при использовании SNCR

Реагент	Преимущество	Недостаток
Аммиак	Более высокий потенциал сокращения содержания NO_X (если процесс тщательно оптимизирован). Более низкий уровень выбросов N_2O (10—15 мг/ м^3)	Более узкий рабочий диапазон температур (850 °С — 950 °С), поэтому требуется более глубокая оптимизация. Уровень опасности при перемещении и хранении выше. Более высокая стоимость в расчете на тонну отходов. Утечка аммиака около 10 мг/м^3 Отходы пахнут при увлажнении
Мочевина	Рабочий диапазон температур шире (540 °С — 1000 °С), поэтому контроль температуры менее критичен. Ниже уровень опасности при хранении и перемещении. Более низкая стоимость в расчете на тонну отходов	Более низкий потенциал сокращения содержания NO_X (см. аммиак при условии оптимизации процесса) Более высокий уровень выбросов N_2O (25—35 мг/м^3) и, следовательно, потенциал глобального потепления. Утечка аммиака около 1 мг/м^3
Примечание — Более низкая стоимость мочевины является наиболее значимым фактором для сравнительно небольших предприятий. Для более крупных предприятий более высокая стоимость хранения аммиака может быть полностью скомпенсирована более низкой «химической» стоимостью.		

Выбор используемых реагентов применим ко всем ситуациям, где используется сокращение содержания NO_X посредством избирательного некаталитического восстановления.

Оптимальный выбор реагента приводит к оптимизации сокращения образования NO_X с минимальным проскоком аммиака и минимальными выбросами N_2O.

Использование обоих реагентов приводит к сокращению выбросов NO_X. Выбор реагента, который лучше всего подходит для конкретных характеристик горения в печи, может привести к более значительному сокращению выбросов: реальному сокращению образования NO_X с минимальным проскоком аммиака и образованием N_2O.

7.7 Сокращение выбросов полихлоридного дибензопарадиоксина/полихлоридного дибензофурана

PCDD/F могут образовываться после выхода из печи из прекурсоров (предшествующих соединений). Прекурсоры — это, например, полихлорированные дифенилы, полихлорированные бифенилметаны, хлорбензолы и хлоргидроксибензолы.

PCDD/F могут также образовываться в каталитических реакциях углерода или углеродных соединений с неорганическими соединениями хлора с оксидами металлов, например меди. Эти реакции будут происходить преимущественно с зольной пылью или пылью от фильтров при температуре от 200 °С до 450 °С.

Следующие механизмы приводят к образованию диоксинов/фуранов при сжигании отходов:

- образование PCDD/F из уже наличествующих или образовавшихся в печи хлорированных углеводородов (таких, как хлоргидробензол или хлорбензол);

- новый синтез при низких температурах (как правило, наблюдается в котлах, сухих электростатических пылеуловителях);

- неполное разложение PCDD/F, поставленного с отходами.

Оптимальное дожигание дымовых газов в значительной степени разрушает прекурсоры. Образование PCDD/F из прекурсоров таким образом подавляется.

Выбросы органических углеводородных соединений можно уменьшить посредством дальнейшего осаждения пыли и аэрозолей, так как эти загрязняющие вещества преимущественно адсорбируются на мелкой фракции пыли, а также усиленным охлаждением (конденсацией) дымовых газов.

7.7.1 Приоритетные подходы к предотвращению образования полихлоридного дибензопарадиоксина/полихлоридного дибензофурана

Основой предотвращения образования PCDD/F на мусоросжигательных заводах является тщательно управляемый процесс горения, препятствующий образованию прекурсоров. Приоритетные подходы к предотвращению образования PCDD/F включают меры, которые применяются для улучшения сгорания и приводят к улучшению производительности сжигания в целом, включая снижение вероятности образования PCDD/F.

7.7.1.1 Общие подходы, применяемые до термической обработки, связаны с контролем и подготовкой отходов перед их сжиганием. В результате применения этих методов можно достичь улучшенных характеристик сгорания и получить информацию о составе отходов, что способствует улучшению последующего управления процессом горения и снижает вероятность образования PCDD/F.

7.7.1.2 Тщательно контролируемое сгорание способствует разрушению PCDD/F и их прекурсоров, которые могут содержаться в отходах, и препятствует образованию новых прекурсоров. Эти подходы имеют ключевое значение для первичного сокращения выбросов PCDD/F во все природные среды.

7.7.1.3 В зонах рекуперации энергии печей наиболее важной задачей является предотвращение повторного образования PCDD/F. Следует уделить особое внимание наличию прекурсоров и детальному проектированию температурных зон, где велик риск образования PCDD/F.

7.7.2 Предупреждение повторного образования PCDD/F в системе очистки дымовых газов

7.7.2.1 Сокращение времени пребывания пыленасыщенного газа в зоне температур от 450 °С до 200 °С снижает опасность образования PCDD/F и аналогичных соединений.

Если пылеудаление производится в этом диапазоне температур, время пребывания зольной пыли в этой зоне продлевается, что увеличивает риск образования PCDD/F. Оборудование для пылеудаления (как правило, представляющее собой электростатические пылеуловители и рукавные фильтры), эксплуатируемое при температурах свыше 200 °С, увеличивает риск образования PCDD/F. Температура на входе в зону пылеудаления должна поддерживаться на уровне ниже 200 °С, что достигается следующим образом:

- дополнительным охлаждением котла: установление в котле температурного диапазона в 450 °С — 200 °С само по себе должно ограничить наличие пыли, предупредив передачу этой проблемы далее по технологической цепочке;

- установкой башни с распылительным орошением для снижения температуры на выходе из котла до уровня ниже 200 °С на последующих стадиях очистки от пыли;

- полным охлаждением до температуры порядка 70 °С, что осуществляется на предприятиях, где охлаждение котла отсутствует, и обычно только там, где существует повышенная опасность образования диоксинов в связи с характером сжигаемых отходов (например, отходы с высоким содержанием полихлорированных дифенилов). Охлаждение до 70 °С является общепринятым подходом на заводах по сжиганию опасных отходов в химической промышленности.

Может быть реализован теплообмен газ/газ (газ из скруббера на входе/газ из скруббера на выходе).

7.7.2.2 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 24.

Таблица 24 — Оценка применимости подходов к предотвращению повторного образования PCDD/F

Критерии	Оценка применимости /Примечания
Вид отходов	Особенно важно уделить внимание наличию отходов, содержащих полихлорированный дифенил, повышающий опасность образования PCDD/F
Диапазон размеров предприятий	Подход применим на всех предприятиях независимо от размера

Окончание таблицы 24

Критерии	Оценка применимости /Примечания
Новые/действующие предприятия	Сложнее внедрить в существующие технологичвские процессы
Межтехнологическая совместимость	Значительные проблемы применительно к температурному режиму
Ключевые факторы	Нет

На действующих предприятиях подобные изменения требуют детального пересмотра процесса очистки дымовых газов, особенно в части распределения тепла и его использования.

На существующих предприятиях, где твердые отходы и дымовые газы уже обрабатываются с эффективным разрушением образовавшихся диоксинов (например, избирательное каталитическое восстановление применительно к газу в сочетании с термической обработкой зольной пыли), преимущества внедрения этого подхода сокращаются.

7.7.2.3 Этот подход применяется там, где:

- существует обеспокоенность в отношении возможного образования PCDD/F в рамках технологического процесса;
- существует обеспокоенность в отношении концентраций PCDD/F абсорбентах систем очистки дымовых газов, нуждающихся в удалении;
- сжигаемые виды отходов несут высокую опасность образования PCDD/F.

7.7.3 Удаление полихлоридного дебензопарадиоксина/полихлоридного дибензофурана с помощью селективного каталитического восстановления

7.7.3.1 Системы SCR используются для сокращения содержания NO_X. Они также разрушают газообразные PCDD/F (не связанные частицами) с помощью каталитического окисления; в этом случае система SCR должна быть разработана соответствующая система SCR с большим количеством слоев, чем просто для удаления NO_X. При этом достигается эффективность удаления PCDD/F от 98 % до 99,9 %.

Для комбинированного сокращения содержания NO_X и PCDD/F в системе SCR обычно требуются 2—3 слоя катализатора.

При сжигании отходов большая часть образовавшихся в воздухе PCDD/F связана пылью, остальная их часть находится в газообразном состоянии. Методы пылеудаления позволяют извлечь пыль, содержащую PCDD/F, а системы SCR (и другие каталитические методы) только разрушают меньшую часть PCDD/F, находящуюся в газообразном состоянии. Сочетание пылеудаления с удалением PCDD/F, как правило, позволяет получить самый низкий общий объем выбросов PCDD/F в атмосферу.

7.7.3.2 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 25.

Таблица 25 — Оценка применимости избирательного каталитического восстановления для устранения PCDD/F

Критерии	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Применим к любым видам отходов
Диапазон размеров предприятий	Применим на предприятиях любого размера, хотя наиболее экономически обосновано применение на средних и крупных предприятиях в связи с капитальными затратами
Новые/действующие предприятия	При применении в конце процесса обработки (наиболее часто), система может быть добавлена к любому технологическому процессу. Сложная модернизация для использования на промежуточных стадиях
Межтехнологическая совместимость	Целесообразен там, где также требуется значительное сокращение содержания NO_x. Подогрев дымовых газов, как правило, требуется для достижения рабочих температур избирательного каталитического восстановления
Ключевые факторы	Пространство, необходимое для оборудования избирательного каталитического восстановления

7.7.3.3 При реализации этого подхода наиболее значимыми комплексными воздействиями на окружающую среду являются:

- потребление энергии для повторного нагрева дымовых газов для достижения необходимой при избирательном каталитическом восстановлении температуры реакции;

- поскольку при использовании данного подхода PCDD/F разрушаются, они не переходят в твердые отходы (как при некоторых технологиях адсорбции).

Масштаб комплексных преимуществ для окружающей среды, связанных с разрушением вместо адсорбции PCDD/F, будет зависеть от предотвращения рисков, связанных с последующим обращением с отходами, содержащими PCDD/F.

7.7.3.4 Эффективность уничтожения газообразных PCDD/F составляет от 98 % до 99,9 %, обеспечивая в сочетании с другими подходами к очистке дымовых газов концентрации ниже 0,1 нг токсического эквивалента/м^3, чаще всего находясь в диапазоне 0,05—0,002 нг/м^3 токсического эквивалента.

Как правило, SCR применяется после первоначального обеспыливания. Пыль, которая удалена на этапе предварительного обеспыливания, будет нести с собой адсорбированные PCDD/F (это может быть их большая часть). Отходы этапа предварительного обеспыливания, таким образом, могут быть загрязнены PCDD/F вне зависимости от того, применяется SCR или нет. Таким образом, уничтожение PCDD/F является преимуществом SCR в части обеспечиваемого сокращения загрязненности отходов, образовавшихся в системе очистки дымовых газов только в тех случаях, когда далее применяется доочистка от пыли.

Там, где отходы, образовавшиеся в системе доочистки дымовых газов, направляются за пределы предприятия, это приводит к общему сокращению выбросов диоксинов во все среды. Если содержащие диоксин отходы извлекаются отдельно (например, с помощью угля) из других отходов, образовавшихся в системе очистки дымовых газов, и пережигаются на предприятии, если это разрешено, то общее сокращение содержания подобных загрязняющих веществ в отходах, которое могло бы быть достигнуто с помощью SCR в качестве дополнительного метода разрушения подобных веществ, оказывается менее значительным.

NO_X обрабатываются при SCR одновременно с PCDD/F, обеспечивая очень низкие выбросы оксидов азота.

В тех немногих случаях, когда SCR применяется перед другими системами очистки дымовых газов, следует отметить, что в блоке SCR не могут обрабатываться связанные пылью PCDD/F, что требует последующего пылеудаления для сокращения их содержания.

7.7.4 Уничтожение полихлоридного дебензопарадиоксина/полихлоридного дибензофурана с использованием каталитических рукавных фильтров

7.7.4.1 Для снижения выбросов PCDD/F используются либо пропитанные катализатором фильтровальные рукава, либо фильтровальное волокно, в котором катализатор был непосредственно смешан с органическим материалом при производстве волокна.

Газообразные PCDD/F лучше разрушаются на катализаторе, чем в случае адсорбции углем (как в системах, предусматривающих введение угля). Фракция PCDD/F, связанных частицами, может быть удалена путем фильтрации. Катализатор не оказывает влияния на ртуть, и поэтому, как правило, необходимо применение дополнительных методов (например, активированного угля или серных реагентов и т. д.), чтобы удалить ртуть до уровня, необходимого для соответствия современному предельному значению выбросов в атмосферу.

Температура газа на входе в рукавный фильтр должна быть свыше 190 °С для обеспечения эффективного разрушения PCDD/F и для предотвращения адсорбции PCDD/F.

7.7.4.2 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 26.

Таблица 26 — Оценка применимости каталитических рукавных фильтров

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Любой
Диапазон размеров предприятий	Любой
Новые/действующие предприятия	Этот подход применяется как для новых, так и для существующих технологических процессов
Межтехнологическая совместимость	Необходимо дополнительно рассмотреть сокращение содержания ртути
Ключевые факторы	Нет

7.7.4.3 Подход применяют там, где:

- нужно достичь уровня выбросов PCDD/F ниже 0,1 нг токсического эквивалента/м^3;
- отсутствуют площади для размещения систем SCR и уже применяются альтернативные методы сокращения содержания NO_X;
- альтернативные средства удаления ртути уже применяются (каталитические рукавные фильтры не удаляют ртуть).

7.7.4.4 При реализации этого подхода наиболее значительные комплексные воздействия на окружающую среду возникают вследствие энергопотребления при перепаде давления в рукавных фильтрах (так же, как и при использовании любых рукавных фильтров).

Каталитические фильтры, как правило, используются в качестве замены других фильтров, которые могут адсорбировать диоксины посредством введения активированного угля. Использование активированного угля одновременно обеспечивает поглощение металлической ртути, таким образом, удаление активированного угля может привести к увеличению выбросов ртути в атмосферу, если не используются альтернативные методы удаления ртути.

7.7.4.5 Эффективность уничтожения PCDD/F на заводах по сжиганию ТБО с использованием каталитических рукавных фильтров составляет более 99 %. Концентрации PCDD/F в выбросах составляют менее 0,02 нг токсического эквивалента/м^3 при концентрациях на входе в 1,9 нг/м^3. Фильтры также обеспечивают пылеудаление.

7.7.5 Уничтожение полихлоридного дебензопарадиоксина/полихлоридного дибензофурана с помощью пережигания адсорбентов

7.7.5.1 Уголь используется для поглощения диоксинов (и ртути) на многих установках для сжигания отходов. Там, где используются методы извлечения ртути, которые обеспечивают достаточный уровень удаления (т.е. позволяющие извлекать ее с большей скоростью, чем она поступает, чтобы избежать циркуляции и, следовательно, выбросов), выход диоксинов можно снизить за счет пережигания адсорбированных PCDD/F при обратной закачке в печь. Обычно дополнительное удаление ртути обеспечивают системы мокрой очистки с низким водородным показателем. Потоки газа с низкой концентрацией соляной кислоты могут не обеспечить достаточную степень удаления ртути, чтобы использовать этот подход.

Примеры применения этого метода включают пережигание:

- адсорбентов неподвижной коксовой калоши;
- захваченных потоком адсорбентов из активированного угля;
- наполненных углем вставок, которые используются для адсорбции диоксинов в скрубберах с водяным орошением и предотвращения так называемого «эффекта памяти».

Основной принцип заключается в том, что отходы системы очистки дымовых газов, содержащие PCDD/F, при определенных обстоятельствах могут быть уничтожены путем сжигания их в той же мусоросжигательной печи, что снижает общий объем образования PCDD/F.

7.7.5.2 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 27.

Таблица 27 — Оценка применимости пережигания абсорберов

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Любой
Диапазон размеров предприятий	Любой
Новые/действующие предприятия	Может применяться на новых и существующих предприятиях
Межтехнологическая совместимость	В основном подходит только для отходов конкретных этапов абсорбции PCDD/F (например, неподвижных коксовых калош и вкладок в скрубберы с водяным орошением с абсорбером диоксина) в тех случаях, когда есть другие средства, позволяющие избежать осаждения ртути и возможности ее выбросов
Ключевые факторы	Нет

7.7.5.3 Существует риск рециркуляции металлической ртути (и, следовательно, выбросов), если эта технология не предполагает присутствия средств для удаления ртути в соответствующих объемах.

7.7.5.4 PCDD/F, содержащиеся в твердых отходах, уничтожаются в рамках технологического процесса, а не переходят в отходы.

7.7.6 Адсорбция полихлоридного дебензопарадиоксина/полихлоридного дибензофурана посредством введения активированного угля или других реагентов

7.7.6.1 Активированный уголь подается в газовый поток, где он смешивается с дымовыми газами. Активированный уголь вводят отдельно или в сочетании со щелочным реагентом, обычно известью или бикарбонатом натрия. Введенные щелочные реагенты, продукты их реакции и угольный адсорбент затем собирают в пылеуловитель, представляющий собой, как правило, рукавный фильтр. Адсорбция PCDD/F происходит в потоке газа и на слое реагента, образовавшемся при использовании заграждающих (например, рукавных) фильтров. Адсорбированные PCDD/F извлекаются с другими твердыми отходами из рукавного фильтра, электростатического пылеуловителя или других последующих устройств пылеуловления.

Активированный уголь демонстрирует высокую эффективность поглощения ртути и PCDD/F.

Различные виды активированного угля характеризуются различной эффективностью адсорбции, что связано с особенностями углеродных частиц, на которые, в свою очередь, влияет производственный процесс их производства.

Минеральные адсорбенты (например, морденит, цеолит, смеси глинистых минералов, филлосиликат и доломит) также могут использоваться для адсорбции PCDD/F при температурах до 260 °С без риска возгорания рукавного фильтра. Также используется буроугольный кокс.

7.7.6.2 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 28.

Таблица 28 — Оценка применимости использования угля для удаления PCDD/F

Критерии	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Любой
Диапазон размеров предприятий	Любой
Новые/действующие предприятия	Применимы к обоим — легко модернизируются в большинстве случаев
Межтехнологическая совместимость	Может быть применено там, где уже используются рукавные фильтры
Ключевые факторы	Нет

7.7.6.3 Буроугольный кокс, по оценкам, более экономичен, чем активированный уголь. В целом потребление буроугольного кокса выше, чем активированного угля (до двух раз).

7.7.6.4 Образуются твердые отходы, содержащие адсорбированные загрязняющие вещества. Количество загрязняющих веществ, удаленных вместе с реагентом, обычно меньше, чем то, которое удалено с пылью посредством эффективного пылеудаления. До 80 % PCDD/F удаляется с пылью. Загрязненные продукты реакций системы газоочистки в некоторых случаях можно использовать в качестве нейтрализующего средства в скрубберах сточных вод, уменьшая тем самым количество необходимых первичных материалов, которые должны добавляться на стадии обработки сточных вод. Активированный уголь или кокс также улавливают тяжелые металлы, например ртуть, из сточных вод, при этом не образуются никакие твердые отходы, за исключением не растворимого в воде угля. Существует высокий риск воспламенения и, следовательно, требуется соблюдать усиленные меры безопасности при хранении и транспортировании активированного угля и кокса.

7.7.7 Адсорбция PCDD/F в неподвижном слое (на статических фильтрах)

7.7.7.1 Фильтры неподвижного слоя из активированного угля используются как дополнительный метод очистки дымовых газов, образующихся при сжигании бытовых и опасных отходов. С помощью этой системы адсорбции можно добиться осаждения веществ, содержащихся в дымовых газах при очень низких концентрациях с высокой эффективностью. Буроугольный кокс, образующийся в процессе коксования в подовых печах, используется в адсорберах подвижного слоя.

Мокрые и сухие коксовые калоши используются при сжигании отходов. Мокрые системы дополняются встречным потоком воды, которая омывает кокс. При этом температура в реакторе снижается, а некоторые из накопленных загрязняющих веществ вымываются из фильтра. Когда вместо кокса/угля

используется активированный бурый уголь, не требуется подогрев дымовых газов выше точки росы кислоты и можно эффективно даже работать с «мокрыми» или водонасыщенными дымовыми газами. По этой причине адсорбер активированного бурого угля может быть размещен непосредственно за скруббером дымовых газов с водяным орошением.

Дымовые газы проходят через слой зернистого кокса подовых печей (мелкой фракции кокса — от 1,25 до 5 мм). Эффект осаждения кокса подовых печей базируется на механизмах адсорбции и фильтрации. Таким образом, иногда практически все содержание загрязняющих веществ (в частности, остаточное содержание соляной кислоты, плавиковой кислоты, оксиды серы, тяжелые металлы) в дымовых газах может быть ниже предела обнаружения.

Существенной особенностью систем с подвижным слоем является их высокая эффективность применительно ко всем видам выбросов за счет большого объема активированного угля, так что отклонения в процессах сжигания и газоочистки не вызовут неприятных последствий.

Дымовые газы направляются на слой активированного кокса через множество двойных дымоходов. Газ течет через них снизу вверх, в то время как кокс подовых печей проходит через адсорбер сверху вниз. Посредством этого достигается идеальное распределение дымовых газов по всему сечению абсорбера и оптимальное использование абсорбера при минимальном расходе активированного угля.

В таких технологических процессах следует уделить внимание контролю температуры и содержания CO во избежание возгорания в коксовом фильтре. Этот фильтр может наполниться по истечении определенного периода времени и должен быть удален и заменен.

Используются мокрые и сухие неподвижные коксовые/угольные калоши. Мокрые системы включают в себя противоточную промывку водой.

7.7.7.2 Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 29.

Таблица 29 — Оценка применимости статических коксовых фильтров

Критерии	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Любые Подходит для очень неоднородных и опасных отходов, в которых содержание PCDD/F может быть высоким из-за сложных условий сжигания
Диапазон размеров предприятий	Размер не имеет значения
Новые/действующие предприятия	Применяют в существующих и новых технологических процессах
Межтехнологическая совместимость	Применяют при стадии доочистки. Наиболее подходящее место размещения — после скруббера с водяным орошением. Может использоваться до избирательного каталитического восстановления с промежуточным подогревом (большим в мокрой системе)
Ключевые факторы	Пространство, необходимое для дополнительной технологической единицы

7.7.7.3 При реализации этого подхода наиболее значимым комплексным воздействием на окружающую среду являются энергозатраты, необходимые для преодоления падения давления в фильтре.

Пожарная опасность может увеличиться при использовании сухой неподвижной коксовой калоши в зависимости от общего устройства системы очистки дымовых газов.

При насыщении отработанный активированный уголь, как правило, отправляют на захоронение на полигоны в качестве токсичного отхода. Если это разрешено, его можно подвергнуть пережиганию в печи для уничтожения адсорбированных PCDD/F. Поскольку уголь адсорбирует ртуть наряду с PCDD/F, при пережигании отработанного угля следует уделить внимание рециркуляции ртути. Использование пережигания приводит к накоплению ртути в системе, если не используются дополнительные методы обеспечения удаления ртути, например мокрая очистка кислотой при низком водородном показателе.

7.7.7.4 Сокращение выбросов в атмосферу:

- PCDD/F адсорбируются для сокращения выбросов до уровня ниже 0,1 нг токсического эквивалента/м^3;

- ртуть адсорбируется для сокращения выбросов до уровня ниже 30 мкг/м^3;
- пыль собирается в фильтр.

7.7.8 Использование углесодержащих материалов для адсорбции PCDD/F в скрубберах с водяным орошением

7.7.8.1 Для адсорбции PCDD/F широко используются полимеры, импрегнированные углем и обладающие высокой устойчивостью к коррозии. PCDD/F адсорбируются на эти полимеры в скрубберах с водяным орошением, где типичная рабочая температура составляет 60 °С — 70 °С. Если температура повышается всего лишь на несколько градусов Цельсия или если концентрация диоксина в газе снижается, поглощенные PCDD/F могут десорбироваться в газовую фазу и способствовать увеличению выбросов в атмосферу. Это также может привести к увеличению значения токсического эквивалента в отходах, образующихся в скрубберах с водяным орошением.

Добавление к скрубберу башенной насадки, которая содержит полипропилен с углем, предоставляет возможность выборочной абсорбции PCDD/F (ртуть насадкой не абсорбируется). Этот материал насыщается после определенного периода времени. Поэтому насыщенный материал надо периодически извлекать для последующего конечного размещения или, если это допускается, сжигания в печи.

При входящих концентрациях в 6—10 нг токсического эквивалента/м^3, эффективность удаления загрязняющих веществ на газовой фазе при использовании скруббера с водяным орошением составляет 60 % — 75 %. Этот показатель можно сравнить с 0 % — 4 %, которые достигаются без использования пропитанных наполнителей.

Этот подход может также использоваться на крупных установках с башенными насадками и/или в комбинации с последующими или предшествующими системами очистки дымовых газов от диоксинов для обеспечения соответствия концентрации PCDD/F установленным требованиям (в том числе при запуске и с обводными системами очистки дымовых газов).

7.7.8.2 Применимо к тем технологическим процессам, где уже выбрана мокрая очистка, где присутствуют доказательства накопления диоксина в скруббере с водяным орошением и где нет последующей стадии системы очистки дымовых газов, обеспечивающей контроль десорбции PCDD/F из скруббера с водяным орошением.

Применяют в качестве предварительного фильтра перед дополнительной системой фильтрации диоксина.

Используют в качестве основного фильтра для диоксинов в сочетании с электростатическим пылеуловителем (при этом требуется более крупная башенная насадка).

Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 30.

Таблица 30 — Оценка применимости использования углесодержащих материалов в скрубберах с водяным орошением

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Любой
Диапазон размеров предприятий	Везде, где используются скрубберы с водяным орошением
Новые/действующие предприятия	Подход применяется на новых и действующих объектах
Межтехнологическая совместимость	Только для скрубберов с водяным орошением
Ключевые факторы	Это легче осуществить в башенной насадке с помощью каустической соды

7.7.8.3 Подход реализуется там, где есть опасения по поводу концентрации PCDD/F на входе и их возможных выбросов на выходе из скрубберов с водяным орошением, а также там, где требуется экономически эффективное сокращение содержания диоксинов на 50 % — 70 %.

7.7.8.4 Отработанный активированный уголь в некоторых случаях отправляют на захоронение на полигоны в качестве токсичного отхода. В некоторых случаях он пережигается в мусоросжигательных печах (однако иногда местное законодательство не допускает пережигания).

7.7.8.5 PCDD/F интенсивно адсорбируются на частицы угля в материале фильтра. Таким образом, сокращаются выбросы, и предотвращается проявление «эффекта памяти» PCDD/F. Первоначальные выбросы могут быть сокращены.

При концентрациях в поступающих отходах в 6—10 нг токсического эквивалента/м^3, эффективность удаления загрязняющих веществ на газовой фазе при использовании скруббера с водяным орошением составляет 60 % — 75 %. Этот показатель можно сравнить с 0 % — 4 %, достигаемыми без использования пропитанных наполнителей.

Достигаемые экологические преимущества таковы:

- предотвращение проявления эффекта памяти, поглощение в скрубберах с водяным орошением и связанной с ним опасности прорыва и десорбции;
- сокращение нагрузки от PCDD/F на последующие операции системы очистки дымовых газов (особенно во время запуска);
- если отработанный реагент будет пережигаться в печи, то будет иметь место общее сокращение баланса масс диоксинов из-за разрушения PCDD/F в печи (которое облегчается выделением этапа абсорбции ртути), а не его передача в твердые отходы.

7.7.9 Использование угольных суспензий в скрубберах с водяным орошением

7.7.9.1 Использование суспензии из активированного угля в скруббере с водяным орошением может как снизить уровень выбросов диоксинов с потоком дымовых газов, так и предотвратить накопление диоксинов в материале скруббера («эффект памяти»).

При водородном показателе, близком к нейтральному, активированный уголь в концентрации, колеблющейся от нескольких грамм на литр до 50 г/л, добавляется в систему, используя фильтры-отстойники для пропускания жидкости с сохранением угля.

Поскольку активированный уголь имеет «активный центр», молекулы диоксинов передаются в жидкости, распыляемые в скруббере, и диоксины далее адсорбируются на уголь, где происходят каталитические реакции.

7.7.9.2 Применяется только там, где скрубберы с водяным орошением используются с каустической содой, чтобы обеспечить водородный показатель, близкий к нейтральному. NaOH должен использоваться для оптимизации водородного показателя в оборудовании там, где используется суспензия активированного угля.

Не применяется для сухих, промежуточных и полумокрых систем очистки дымовых газов.

7.7.9.3 Подход используется для достижения уровня выбросов ниже 0,1 нг токсического эквивалента/м^3.

7.7.9.4 Выбросы PCDD/F сокращаются до 0,01—0,1 нг токсического эквивалента/м^3. Активированный уголь, который удаляется из системы, не загрязнен.

Активированный уголь также может адсорбировать ртуть. При указанных выше условиях выход ртути, как правило, значительно ниже 50 мкг/м^3 при сжигании бытовых отходов.

Поскольку активированный уголь превращает SO_2 в серную кислоту, этот процесс также является этапом доочистки для удаления SO_2.

7.8 Сокращение выбросов ртути

7.8.1 Приоритетные подходы

7.8.1.1 Ртуть обладает высокой летучестью, и поэтому почти полностью переходит в поток дымовых газов. Приоритетными методами предотвращения выбросов ртути в атмосферу являются те, которые позволяют предотвратить образование ртутьсодержащих отходов или включение ртути в состав отходов:

- эффективный раздельный сбор отходов, которые могут содержать тяжелые металлы, например батарей, аккумуляторов, зубных пломб из амальгамы и т. д.;
- уведомление тех, у кого образуются отходы, о необходимости раздельного сбора ртути;
- выявление и/или ограничение поступления отходов, которые могут быть загрязнены ртутью: посредством отбора и анализа проб отходов, где это возможно, а также в рамках кампаний целевой выборки/тестирования;
- там, где уже выявлено образование таких отходов, обращаться с ними так, чтобы избежать перегрузки оборудования по их обработке.

Ртуть испаряется полностью при температуре 357 °С и остается в газообразном состоянии в дымовых газах после прохождения через печь и котел. Неорганическая ртуть (Hg^{2+}, главным образом, как хлорид) и элементарная ртуть по-разному обрабатываются системами очистки дымовых газов, поэтому требуется детальное рассмотрение обращения с обоими типами веществ.

Выбор способа удаления ртути зависит от количества отходов и содержания в них хлора. При более высоком содержании хлора ртуть в неочищенных дымовых газах будет преимущественно в ионной форме и может быть извлечена в скруббере с водяным орошением. Это особенно важно для предприятий по сжиганию шлама сточных вод, где уровень хлора в сырье может быть довольно низок. Если содержание хлора в (сухом) шламе сточных вод составляет не менее 0,3 % по массе, всего лишь 10 % ртути в чистом газе является элементарной, и удаление только ионной ртути может позволит достичь общих выбросов ртути на уровне 0,03 мг/м^3.

Металлическая ртуть может быть удалена из потока дымовых газов посредством:

- преобразования в ионную ртуть путем добавления окислителей, а затем осаждения в скруббере: сточные воды могут быть затем переданы на станцию очистки сточных вод с осаждением тяжелых металлов, где ртуть может быть преобразована в более стабильную форму (например, HgS), более подходящую для окончательного удаления;
- прямого осаждения на легированный серой активированный уголь, кокс подовой печи или цеолиты.

Испытания показали, что нейтрализация диоксида серы в печи посредством добавления извести может сократить содержание металлической ртути, что делает удаление ртути из газового потока в целом более эффективным.

На предприятиях по сжиганию бытовых и опасных отходов среднее содержание хлора в отходах, как правило, достаточно высоко для того, чтобы гарантировать, что в нормальных режимах работы ртуть присутствует в отходах в основном в ионной форме. Тем не менее конкретный вклад определенных отходов может изменить ситуацию, и металлическая ртуть может быть удалена, как уже описывалось выше.

7.8.1.2 Отходы с высоким содержанием ртути

При сжигании отходов с высоким содержанием ртути в установках по сжиганию опасных отходов осаждение 99,9 % ртути можно обеспечить только при сжигании отходов с очень высоким содержанием хлора в соответствующем соотношении с ртутью. Для подобных предприятий характерно использование технологий многоступенчатой мокрой очистки. Высокая доля ионов ртути (например, более 99,9 %) в неочищенных дымовых газах до мокрой очистки вызывается в том числе отходами с высоким содержанием хлора.

Высокое содержание хлора на входе (около 4 % по массе) и, следовательно, высокий промежуточный уровень Cl_2 приводят к высоким уровням хлорирования ртути, и осаждение ртути близко к 100 %. При более низкой загрузке хлора на входе осаждение ртути быстро снижается.

7.8.2 Мокрая очистка при низком водородном показателе и добавление присадок

7.8.2.1 Использование скрубберов с водяным орошением для удаления кислого газа вызывает снижение водородного показателя скруббера. Большинство скрубберов с водяным орошением включают по меньшей мере два этапа. На первом удаляются в основном HCl, HF. Второй этап при водородном показателе в 6—8 служит для удаления SO_2.

Если на первом этапе водородный показатель поддерживается на уровне ниже 1, то эффективность удаления ионов ртути, таких как $HgCl_2$, которые, как правило, представляют собой основную часть соединений ртути, образующихся после сжигания отходов, составляет более 95 %. Тем не менее, удаление металлической ртути не превышает 0 % — 10 %, в основном в результате конденсации при рабочей температуре скруббера от 60 °С до 70 °С.

Адсорбция металлической ртути может быть повышена максимум до 20 % — 30 % посредством добавления в рабочую жидкость скруббера:

- серы,
- активированного угля;
- окислителей, например перекиси водорода. Этот подход позволяет преобразовать металлическую ртуть в ионную форму, например в $HgCl_2$, чтобы облегчить ее осаждение, и имеет наиболее значимый эффект.

Эффективность полного удаления ртути (как металлической, так и ионной) составляет около 85 %.

Эффективность удаления более 90 % может быть достигнута добавлением бромсодержащих отходов или бромсодержащих химических веществ в камеру сгорания. При концентрациях загрязняющих веществ в поступающих отходах, типичных для многих видов отходов, а также с учетом неопределенности состава большинства отходов, эффективность удаления данного вида обработки отходов, как правило, не достаточна для достижения уровня выбросов ниже 50 мкг/м^3.

В любом случае могут потребоваться дополнительные меры удаления ртути в зависимости от входной концентрации, такие как:

- введение угля до рукавных фильтров;
- фильтрование в неподвижной коксовой калоше.

7.8.2.2 Применение кислотных скрубберов с водяным орошением для сокращения выбросов ртути позволяет достичь установленных требований только в тех случаях, если:

- водородный показатель поддерживается на уровне ниже 1;
- концентрации хлоридов достаточно высоки для того, чтобы ртуть, содержащаяся в дымовых газах, была почти полностью ионной (и, следовательно, удаляемой как хлорид);
- в некоторых случаях в скруббер с низким водородным показателем вносятся добавки.

Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 31.

Таблица 31 — Оценка применимости скрубберов с водяным орошением для извлечения ртути

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Любой
Диапазон размеров предприятий	Везде, где используются скрубберы с водяным орошением
Новые/действующие предприятия	Как правило, не применяется на новых установках
Межтехнологическая совместимость	См. комментарии для скрубберов с водяным орошением
Ключевые факторы	Нет

Этот подход применим только на предварительных стадиях предупреждения выбросов ртути в атмосферу или там, где концентрация ртути в поступающих отходах достаточно низка (например, ниже 4 мг/кг). В противном случае его использование может привести к выбросам в атмосферу более 50 мкг/м^3.

7.8.3 Введение активированного угля для адсорбции ртути

7.8.3.1 Этот подход предполагает введение активированного угля перед рукавным фильтром или другим обеспыливающим устройством. Металлическая ртуть адсорбируется в потоке и там, где установлены заграждающие фильтры, например рукавные фильтры, а также адсорбируется на реагент, который удерживается на поверхности фильтровального мешка.

7.8.3.2 Комплексные воздействия на окружающую среду аналогичны другим подходам, предполагающим использование рукавных фильтров.

Эффективные рукавные фильтры и система внесения реагента особенно важны для достижения низкого уровня выбросов.

Различные виды активированного угля характеризуются различной эффективностью адсорбции. Дополнительной возможностью улучшения качества удаления ртути является пропитка адсорбента серой. В среднем часовой расход различных видов угля, необходимый для достижения установленного уровня выбросов ртути, составляет:

- 8—9 кг/ч для кокса из скорлупы кокосовых орехов;
- 5,5—6 кг/ч для кокса из торфа;
- 8—8,5 кг/ч для бурого угля;
- 4—4,5 кг/ч для торфяного угля.

Расход угля не отличается от указанного для адсорбирования PCDD/F, поскольку, как правило, адсорбент используется для одновременного удаления ртути и PCDD/F. Норма расхода угля в 0,35—3 кг/т отходов типична для заводов по сжиганию ТБО. Адсорбционная способность реагента, концентрация ртути в поступающих отходах и требуемый уровень выбросов определяют необходимую дозировку реагентов.

Огнеопасность активированного угля велика. Адсорбент может быть смешан с другими реагентами в целях снижения опасности возгорания. В некоторых случаях используется 90 % извести и 10 % углерода. Доля угля, как правило, выше там, где присутствуют дополнительные этапы процесса для удаления кислых газов (например, скрубберы с водяным орошением).

7.8.3.3 В таблице 32 представлена подробная информация о конкретных аспектах использования добавления активированного угля.

Таблица 32 — Оценка применимости использования угля для удаления ртути

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	Обеспечивает эффективное сокращение выбросов в целом ряде видов отходов
Диапазон размеров предприятий	Любой
Новые/действующие предприятия	Применяют на новых предприятиях и при модернизации
Межтехнологическая совместимость	Без особых ограничений
Ключевые факторы	Нет

7.8.3.4 Подход применяется на новых и действующих предприятиях в качестве средства сокращения выбросов ртути в атмосферу.

7.8.3.5 Комплексные воздействия на окружающую среду аналогичны другим подходам, предполагающим использование рукавных фильтров. Потребление энергии при использовании рукавных фильтров является важным фактором.

При реализации этого подхода наиболее значимое комплексное воздействие на окружающую среду — образование отходов, загрязненных удаляемыми загрязняющими веществами (ртутью).

В тех случаях, когда твердый реагент пережигается (для уничтожения PCDD/F) в мусоросжигательной печи, важно, чтобы:

- установка имела способ удаления ртути, предотвращающий образование загрязняющих веществ в пределах технологического процесса (и в конечном итоге их выбросы);
- альтернативный способ удаления позволял удалять загрязняющие вещества с достаточной скоростью;
- учитывалась возможность перехода ртути в сточные воды там, где используются скрубберы с водяным орошением (хотя из сточных вод она может быть затем извлечена и переведена в твердый остаток при использовании соответствующих методов обработки).

7.8.3.6 Достигаемые экологические преимущества

Металлическая ртуть адсорбируется (эффективность удаления обычно составляет около 95 %), что приводит к выбросам в атмосферу менее 30 мкг/м^3. Ионы ртути также удаляются посредством химической адсорбции, связанной с содержанием серы в дымовых газах или с серной пропиткой некоторых видов активированного угля.

В некоторых системах, где удаление ртути осуществляется в мокрых кислотных скрубберах (водородный показатель менее 1), достигаются конечные уровни выбросов ниже 1 мкг/м^3.

Рукавные фильтры также обеспечивают удаление твердых частиц и тяжелых металлов. Добавление щелочных реагентов с углем также позволяет сократить содержание кислых газов в одноэтапном технологическом процессе.

7.8.4 Использование конденсационных скрубберов для доочистки дымовых газов

7.8.4.1 В дополнение к потенциальным выгодам от использования таких систем для рекуперации энергии конденсация при использовании холодных скрубберов может привести к конденсации некоторых загрязняющих веществ. Это может сократить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, но в значительной степени только там, где скруббер работает при особенно низких температурах, например при 40 °С.

7.8.4.2 Подход применяется в основном как способ рекуперации энергии и там, где дополнительные этапы удаления загрязняющих веществ уже включены в технологический процесс (например, угольная абсорбция, мокрая очистка при низком водородном показателе).

Данный подход, как правило, не применяется самостоятельно как средство для борьбы с загрязнением, но может быть эффективен как стадия доочистки в сочетании с другими системами.

Этот подход применяется после этапов очистки дымовых газов, поэтому он может применяться к любому виду отходов.

Подход применяется в конце системы очистки дымовых газов, поэтому может применяться как на новых, так и на действующих предприятиях.

7.8.4.3 Комплексные воздействия на окружающую среду

Конденсат будет содержать загрязняющие вещества, которые нуждаются в обработке на станции очистки сточных вод перед сбросом. Там, где уже применяются скрубберы с водяным орошением, сточные воды конденсационного скруббера могут обрабатываться в той же технологической цепочке.

Подход, как правило, применяется только там, где доступны средства охлаждения. Например, холодная (40 °С) обратная вода системы центрального отопления, которое, как правило, применяется только в холодном климате. Применение этого подхода в других обстоятельствах может привести к высоким затратам на энергию, требуемую для охлаждения.

Низкая температура в дымовой трубе позволит снизить тепловую плавучесть дымового шлейфа и, следовательно, сократить его рассеивание. Это может быть преодолено с помощью увеличения высоты и/или уменьшения диаметра дымовой трубы.

7.8.4.4 Достигнутые экологические преимущества

Конденсация загрязняющих веществ из дымовых газов обеспечивает дополнительное снижение выбросов в атмосферу. Применительно к ртути на этот подход вообще нельзя полагаться, чтобы достичь уровня выбросов ниже 50 мкг/м^3. В связи с этим, его можно рассматривать только как дополнительный этап доочистки.

Конденсация воды из дымовых газов может при использовании последующего подогрева дымовых газов значительно уменьшить видимость дымового шлейфа и сократить расход воды в скруббере.

7.8.5 Отделение ртути с помощью фильтра на основе ионообменной смолы

После отделения пыли и первой кислотной мокрой промывки ионно-связанные тяжелые металлы проводятся через ионообменник. Ртуть извлекается в фильтрах на основе ионообменной смолы. Затем кислота нейтрализуется с использованием известкового молока.

Если после промывки остаточная ртуть еще присутствует в отработанном воздухе, она удерживается в следующем далее коксовом фильтре.

Подход дорогостоящий по сравнению с альтернативами.

Фильтр, содержащий смолы, требует регенерации с извлечением ртути.

Подход обеспечивает высокую надежность удаления ртути.

7.8.6 Введение хлорита для сокращения содержания элементарной ртути

В то время как окисленная ртуть хорошо растворима в воде и может быть удалена с помощью скруббера с водяным орошением, элементарная ртуть требует иных методов удаления. Таким образом, трудно добиться значительного сокращения содержания элементарной ртути с помощью скруббера с водяным орошением, если одновременно не используется активированный уголь.

Введение сильного окислителя преобразует элементарную ртуть в окисленную ртуть и делает возможным ее удаление с помощью скруббера с водяным орошением. Этот окислитель используется в реакции с другими соединениями (например, с диоксидом серы) и вводится непосредственно перед распылительными форсунками первого кислотного скруббера. Водородный показатель скруббера составляет от 0,5 до 2. Если распыляемая жидкость соприкасается с кислыми парами, содержащими хлороводород, хлорит превращается в диоксид хлора, который и является действующим веществом.

Подход применятся при сжигании отходов; достигается сокращение содержания ртути в дымовых газах, содержащих не менее 400 мг/м^3 хлороводорода.

Совместим только со скрубберами с водяным орошением.

Стоимость реагентов является ограничивающим фактором.

Использование окислителей способствует удалению NO в скруббере (путем его преобразования в более растворимый NO_2), что может привести к проблемам вследствие высокого содержания азота в сточных водах.

К достигаемым экологическим преимуществам относятся: сокращение выбросов ртути и NO_X.

7.8.7 Добавление перекиси водорода в скрубберы с водяным орошением

7.8.7.1 Цель системы — это извлечение Hg, HCl и SO_2 из дымовых газов. В процессе вся элементарная ртуть окисляется до растворимых в воде соединений ртути.

Первый этап представляет собой охладитель, расположенный после рукавных фильтров (с добавлением угля, поглощающего значительную часть ртути). После охлаждения дымовые газы входят в контакт с жидкостью скруббера, которая содержит перекись водорода и добавки. Жидкость скруббера реагирует с дымовыми газами, и кислые сточные воды передаются далее для нейтрализации и осаждения ртути.

7.8.7.2 Этот метод применим для всех типов установок для сжигания отходов, в которых применяются скрубберы с водяным орошением. Наилучший эффект достигается, если скруббер находится после рукавных фильтров с углем.

Подход может использоваться на новых и существующих объектах, которые нуждаются в обеспечении соответствия новым более строгим требованиям к предельным уровням выбросов Hg, HCl и SO_2.

7.8.7.3 Достигаемые экологические преимущества

Дополнительное сокращение концентрации всех видов ртути в дымовых газах (эффективность удаления при применении совместно с активированным углем обычно составляет около 99,5 %), а также сокращение содержания HCl и SO_2.

7.8.8 Использование статических фильтров с активированным углем или коксовых фильтров

Использование этих подходов и их преимущества для сокращения содержания ртути, снижения комплексных воздействий на окружающую среду и других аспектов уже были описаны в 7.8.3.

Ртуть адсорбируется, при этом выбросы в атмосферу составляют обычно менее 30 мкг/м^3.

7.9 Другие подходы и вещества

7.9.1 Использование специальных реагентов для сокращения содержания йода и брома

7.9.1.1 Специальные реагенты, например, тиосульфат натрия или бисульфит натрия, также могут быть добавлены в соответствии с требованиями к существующим скрубберам с водяным орошением при обработке определенных партий отходов (в данном случае знание состава отходов имеет решающее значение) или добавляться постоянно на дополнительной стадии мокрой очистки (потребление реагентов при этом может быть выше).

В галоидном скруббере любые свободные галогены сводятся к галогеноводороду в результате реакции со щелочным раствором $Na_2S_2O_3$. Вместе с остаточным SO_2 галогеноводород затем удаляется из дымовых газов путем растворения.

Галогены, о которых идет речь — это галогены брома и йода, содержащиеся в основном в антипиренах и медицинских отходах. Поскольку фтор и хлор являются более сильными окислителями, они полностью превращаются в гидриды.

Кроме того, можно уменьшить выбросы йода и брома в атмосферу путем введения серосодержащих отходов или SO_2 в печь.

7.9.1.2 В основном подход применим на заводах по сжиганию опасных отходов или на других объектах, где концентрация йода и брома в сжигаемых отходах сильно варьируется и/или трудно предсказуема/контролируема.

Оценка применимости данного подхода приведена в таблице 33.

Таблица 33 — Оценка применимости удаления галогенов с использованием $Na_2S_2O_3$

Критерий	Оценка применимости/примечание
Вид отходов	В основном применяют на заводах по сжиганию опасных отходов, где содержание йода и брома в отходах может быть высоким, например, при сжигании лабораторных или химико-фармацевтических отходов
Диапазон размеров предприятий	Любые
Новые/действующие предприятия	Целевое добавление реагента может использоваться на любом существующем заводе по сжиганию отходов, где эксплуатируются скрубберы с водяным орошением. Внедрение системы постоянного добавления реагента является более сложной/дорогой при ее включении в существующие технологические процессы, однако она может быть предусмотрена на новых предприятиях на этапе проектирования
Межтехнологическая совместимость	Применяют при использовании скрубберов с водяным орошением
Ключевые факторы	Чувствительность к видимому (цветному) дымовому шлейфу

7.9.1.3 Потребление $Na_2S_2O_3$ зависит от содержания серы в отходах: его добавление производят в зависимости от концентрации SO_2 в неочищенном газе. Если отходы содержат достаточно серы, дополнительное удаление галогенов не требуется.

Удаленные загрязняющие вещества переносятся в сточные воды, поэтому может потребоваться их последующая обработка.

В случае добавления SO_2 или отходов с повышенным содержанием серы потребуются изменения в настройках последующих этапов системы очистки дымовых газов для обеспечения совместимости с измененным химическим составом отходов. Изменения в балансе между серой и хлором также могут влиять на повторное образование PCDD/F.

7.9.1.4 При прохождении заметных концентраций брома или йода через системы очистки дымовых газов в некоторых случаях возможно окрашивание дымовых газов в желто-коричневый или лиловый цвета соответственно. Добавление $Na_2S_2O_3$ при необходимости или на постоянной основе предотвращает возникновение этого эффекта.

7.9.2 Подходы к сокращению выбросов парниковых газов CO_2, N_2O

Существуют два способа сокращения выбросов парниковых газов:

- повышение эффективности рекуперации энергии и энергообеспечения;
- контроль выбросов CO_2 за счет использования системы очистки дымовых газов.

Возможно образование карбоната натрия при реакции CO_2 в дымовых газах с NaOH.

Выбросы закиси азота при сжигании отходов могут произойти в результате:

- использования более низких температур сгорания; как правило, это становится заметным при температурах ниже 850 °С;
- использования избирательного не каталитического восстановления для сокращения содержания NO_X (особенно там, где в качестве реагента используется мочевина).

Оптимальная температура для одновременного сокращения образования NO_X и N_2O находится в диапазоне 850 °С — 900 °С. В условиях, когда температура после камеры сгорания свыше 900 °С, выбросы N_2O низки. Выбросы N_2O при использовании избирательного каталитического восстановления также низки. Таким образом, если температура горения находится свыше 850 °С, избирательное некаталитическое восстановление является, по сути, единственным значительным источником выбросов N_2O на современных установках для сжигания отходов.

Если контроль не осуществляется должным образом, то использование избирательного некаталитического восстановления, особенно с мочевиной, может привести к увеличению выбросов закиси азота. Кроме того, возможно выделение закиси азота в процессах, где кислород подается для получения суб-стехиометрического состава (например, при газификации и пиролизе), а также в печах с псевдоожиженным слоем, работающих при определенных условиях.

Чтобы избежать выбросов закиси азота, используются следующие методы:

- снижение дозировки реагента избирательного некаталитического восстановления путем оптимизации процесса избирательного некаталитического восстановления;
- выбор оптимального температурного окна для введения реагента избирательного некаталитического восстановления;
- использование методов моделирования потоков для оптимизации мест размещения форсунок;
- проектирование с учетом обеспечения эффективного смешивания газа с реагентом в соответствующей температурной зоне;
- использование аммиака вместо мочевины при избирательном некаталитическом восстановлении.

УДК 504.064:006.354 ОКС 13.030.01

Ключевые слова: ресурсосбережение, наилучшие доступные технологии, обработка, отходящие газы

Редактор *О.В. Рябиничева*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 19.07.2019. Подписано в печать 05.08.2019. Формат 60×84¼. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,00.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,

117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru istinfo.ru

gost.e-ecolog.ru