ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС 22—2016

ОЧИСТКА ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ (ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ) ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ (ТОВАРОВ), А ТАКЖЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ И ОКАЗАНИИ УСЛУГ НА КРУПНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Москва
Бюро НДТ
2016

Содержание

Введение VI
Краткое содержание справочника НДТ VI
Предисловие XI
Область применения 1
Раздел 1. Общая информация о выбросах вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях 3
Раздел 2. Описание технологических процессов, применяемых в настоящее время для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях в приоритетных областях применения НДТ 13
2.1 Общие подходы к очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях 13
2.2 Характеристика выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух в приоритетных областях применения НДТ 19
2.3 Описание применяемых технологических подходов, методов, мер и мероприятий, направленных на очистку выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух 36
2.4 Подходы, методы, меры и мероприятия, направленные на очистку выбросов в атмосферный воздух от основных загрязняющих веществ 87
Раздел 3. Определение наилучших доступных технологий 127
3.1 Критерии отнесения технологических процессов, оборудования, технических способов, методов к НДТ 128
3.2 Внедрение наилучшей доступной технологии 137
Раздел 4. Наилучшие доступные технологии, относящиеся ко всей области применения настоящего справочника НДТ 138
1 НДТ организационно-управленческого характера 138
НДТ 1-1. Внедрение и постоянная поддержка принципов экологического менеджмента 138
НДТ 1-2. Повышение квалификации персонала 139
НДТ 1-3. Снижение вероятности чрезвычайных ситуаций 140

НДТ 1-4. Совершенствование систем очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ 140
2 НДТ в области энергосбережения и ресурсосбережения 141
НДТ 2-1. Внедрение и постоянная поддержка принципов энергосбережения и ресурсосбережения при обращении с образующимися выбросами вредных (загрязняющих) веществ 141
НДТ 2-2. Сокращение энергопотребления при обращении с образующимися выбросами вредных (загрязняющих) веществ 141
НДТ 2-3. Сокращение энергопотребления при очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ 141
НДТ 2-4. Сокращение образования выбросов вредных (загрязняющих) веществ 142
НДТ 2-5. Максимально возможное извлечение из отходящих газов загрязняющих веществ и их последующее использование 142
НДТ 2-6. Использование систем автоматического управления расходом реагентов для очистки выбросов загрязняющих (вредных) веществ 143
НДТ 2-7. Использование комплексного подхода при обращении с отходящими газами 143
НДТ 2-8. Сбор отходящих газов 143
3 НДТ производственного экологического контроля 144
НДТ 3-1. Аппаратный учет количества выбросов маркерных веществ 144
НДТ 3-2. Разработка и внедрение на предприятии программы и методик измерений 144
НДТ 3-3. Разработка и внедрение на предприятии программы обнаружения и устранения утечек в оборудовании 144
НДТ 3-4. Контроль диффузных выбросов летучих органических соединений 145
4 НДТ предотвращения негативного воздействия обработки отходящих газов на окружающую среду 146
НДТ 4-1. Использование факельного сжигания только по соображениям безопасности или при нештатных условиях эксплуатации 146
НДТ 4-2. Снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду при факельном сжигании 146

НДТ 4-3. Предотвращение или, где это неосуществимо, сокращение диффузных выбросов в атмосферу летучих органических соединений 147
НДТ 4-4. Использование элементов оборудования с высокими требованиями к надежности 148
НДТ 4-5. Обеспечение предусмотренного давления на прокладки во фланцевых соединениях 148
5 НДТ предотвращения и сокращения образования запахов 149
НДТ 5-1. Разработка, внедрение и регулярная актуализация плана учета и контроля запахов и борьбы с ними как части системы экологического менеджмента 149
НДТ 5-2. Сокращение образования запахов при сборе и обработке сточных вод и осадков сточных вод 150
6 НДТ предотвращения или сокращения шумового воздействия 150
НДТ 6-1. Разработка и внедрение плана учета и контроля шумообразования и борьбы с ним как части системы экологического менеджмента 151
НДТ 6-2. Надлежащее размещение оборудования и зданий 151
НДТ 6-3. Надлежащее осуществление эксплуатационных мероприятий 151
НДТ 6-4. Использование малошумного оборудования 152
НДТ 6-5. Сокращение и предотвращение шумообразования при использовании оборудования 152
НДТ 6-6. Использование мероприятий по предотвращению распространения шума (шумопоглощение) 152
Раздел 5. Наилучшие доступные технологии, направленные на очистку выбросов в атмосферный воздух от основных вредных (загрязняющих) веществ в приоритетных областях применения НДТ 153
НДТ В-1. Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух твердых частиц (пыли), взвешенных веществ 154
НДТ В-2. Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух серы и ее соединений 155
НДТ В-3. Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух азота и его соединений 156

НДТ В-4. Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух летучих органических соединений 158
Раздел 6. Перспективные технологии 159
ПТ-1. Мультивихревой гидрофильтр МВГ 160
ПТ-2. Технология очистки газов контактным охлаждением 161
ПТ-3. Компактный гибридный коллектор твердых частиц 162
ПТ-4. Агломерация частиц 163
ПТ-5. Плазмокаталитическая технология воздухоочистки ПКТ 164
ПТ-6. Компактные электрофильтры 165
ПТ-7. Трехступенчатый пылеуловитель 166
ПТ-8. Фотокаталитическое окисление с диоксидом титана 166
ПТ-9. Использование керамических фильтров для удаления нескольких загрязняющих веществ 169
ПТ-10. Комплексная очистка от SO_x и NO_x 172
ПТ-11. Система десульфуризации дымовых газов NID™ 173
ПТ-12. Технология десульфурации выбросных промышленных газов по СПР-методу 174
Заключительные положения и рекомендации 175
Библиография 177
Приложение А (справочное) Перечень национальных стандартов серии «Ресурсосбережение» 182
Приложение Б (справочное) Перечень национальных стандартов серии «Энергосбережение» 188
Приложение В (обязательное) Энергоэффективность 189
Приложение Г (обязательное) Перечень НДТ, позволяющих сократить эмиссии в окружающую среду, потребление сырья, воды, энергии и снизить образование отходов 195
Приложение Д (обязательное) Основные и дополнительные виды деятельности с учетом областей применения НДТ, а также действующих в Российской Федерации кодов ОКВЭД 198

Введение

Настоящий информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (далее — справочник НДТ) «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» является документом по стандартизации, разработанным в результате анализа технических, технологических и управленческих решений, применяемых при обеспечении очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях.

Структура настоящего справочника НДТ соответствует ПНСТ 21—2014 [11], формат описания технологий — ПНСТ 23—2014 [13], термины приведены в соответствии с ПНСТ 22—2014[12].

Для удобства идентификации веществ, загрязняющих атмосферный воздух, в тексте настоящего справочника НДТ после наименования вещества в круглых скобках приведен его код в соответствии с документом «Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух» (издание восьмое, переработанное и дополненное. — СПб, 2010).

Краткое содержание справочника НДТ

Введение. Приводятся краткое содержание настоящего справочника НДТ и обзор законодательных документов, использованных при его разработке.

Предисловие. Указывается цель разработки настоящего справочника НДТ, его статус, законодательный контекст, описание конкретной проблемы межотраслевого характера, решаемой настоящим справочником НДТ, описание процедуры создания в соответствии с установленным порядком, а также порядок его применения.

Область применения. Приводятся области применения НДТ, на которые распространяется действие настоящего справочника НДТ. Указываются предприятия, технологии очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух для которых не включены в настоящий справочник НДТ.

В **разделе 1** приводится общая информация о рассматриваемой межотраслевой проблеме: очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях.

В **разделе 2** приводится описание технологических процессов, используемых в настоящее время для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг в приоритетных областях применения НДТ. Приоритетные области применения НДТ были выделены из «Перечня областей применения наилучших доступных технологий» (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р), исходя из объемов выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, наличия экологических проблем и пр. Текст раздела 2 основывается на информации, приведенной в поступивших от предприятий анкетах, а также письменно сформулированных мнениях экспертного сообщества, поэтому в тексте могут встречаться вторичные заимствования из научно-технической литературы.

Раздел 2 состоит из следующих подразделов:

- «2.1 Общие подходы к очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях»;

- «2.2 Характеристика выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух в приоритетных областях применения НДТ»;

- «2.3 Описание применяемых подходов, методов, мер и мероприятий, направленных на очистку выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух»;

- «2.4 Подходы, методы, меры и мероприятия, направленные на очистку производственных выбросов в атмосферный воздух от основных загрязняющих веществ (взвешенных веществ (код 2902), диоксида серы (код 330), диоксида азота (код 301) и оксида азота (код 304), оксида углерода (код 337))».

В **разделе 3** приводится определение подходов, методов, мер и мероприятий в качестве НДТ для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух (образующихся при производстве продукции/товаров, проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях) в соответствии со статьей 28.1 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», «Методическими рекомендациями по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии», утвержденными Приказом Минпромторга Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665, а также с учетом положений ГОСТ Р 54097—2010 «Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Методология идентификации» и европейского справочника НДТ «Комплексное воздействие НДТ на окружающую среду и экономическая эффективность».

В **разделе 4** приводится описание НДТ, позволяющих сократить эмиссии в окружающую среду, потребление сырья, воды, энергии и снизить образование отходов при очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. Приводится описание универсальных НДТ, относящихся ко всей области применения настоящего справочника НДТ, в том числе НДТ организационно-управленческого характера, энергосбережения и ресурсосбережения, производственного экологического контроля, предотвращения негативного воздействия обработки отходящих газов на окружающую среду, предотвращения и сокращения образования запахов и шумового воздействия. Приводятся данные по ограничению применимости НДТ (возможность применения НДТ на действующих предприятиях; возможность внедрения НДТ только на новом предприятии). По возможности приводятся экономические показатели, характеризующие применение НДТ.

В **разделе 5** приводится описание НДТ, позволяющих оптимизировать процессы очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от основных загрязняющих веществ посредством проведения первичных мероприятий, направленных на предотвращение образования вредных (загрязняющих) веществ в выбросах, а также вторичных мероприятий («на конце трубы»), подходы к которым указаны в 2.4. Приводятся данные по ограничению применимости НДТ (возможность использования НДТ на действующих предприятиях; возможность внедрения НДТ только на новом предприятии). По возможности приводятся экономические показатели, характеризующие применение НДТ.

В **разделе 6** приводится описание перспективных технологий, применяемых для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и находящихся на стадии научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ, опытно-промышленного внедрения, а также зарубежных технологий, не получивших в настоящее время широкого внедрения на территории Российской Федерации.

Заключительные положения и рекомендации. В разделе приводятся сведения о членах технической рабочей группы, принимавших участие в разработке настоящего справочника НДТ, их взаимное согласие по отдельным положениям настоящего справочника НДТ. Приводятся рекомендации о направлениях проведения дальнейших исследований и сбора информации в области НДТ для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях.

Библиография. Приведен перечень источников информации и нормативных правовых актов, использованных при разработке настоящего справочника НДТ.

Приложения. В приложении А приводится перечень национальных стандартов серии «Ресурсосбережение», в приложении Б — перечень национальных стандартов серии «Энергосбережение», в приложении В — информация по энергоэффективности, в приложении Г — перечень НДТ, в приложении Д — основные и дополнительные виды деятельности с учетом областей применения НДТ, а также действующих в Российской Федерации кодов ОКВЭД.

При разработке настоящего справочника НДТ были использованы следующие законодательные и нормативные документы:

- Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;

- Федеральный закон от 31 декабря 2014 г. № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации»;

- Федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»;

- постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям»;

- распоряжение Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р «Об утверждении Перечня областей применения наилучших доступных технологий»;

- распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р «Об утверждении поэтапного графика создания в 2015–2017 годах отраслевых справочников наилучших доступных технологий»;

- распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 марта 2014 г. № 398-р «Об утверждении комплекса мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, переход на принципы наилучших доступных технологий и внедрение современных технологий»;

- приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665 «Об утверждении Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии»;

- ПНСТ 21—2014 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника;

- ПНСТ 22—2014 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения;

- ПНСТ 23—2014 Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий.

Настоящий справочник НДТ разработан с учетом имеющихся в Российской Федерации технологий, оборудования, сырья, других ресурсов, а также с учетом климатических, экономических и социальных особенностей Российской Федерации.

При разработке настоящего справочника НДТ были использованы положения руководящего документа по технологиям регулирования выбросов серы, NO_x, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников («Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния»), европейского справочника НДТ «Системы обработки/обращения со сточными водами и отходящими газами в химической промышленности» и 29 отраслевых («вертикальных») европейских справочников НДТ, перечень которых приводится в библиографии. Использование не всех отраслевых европейских справочников НДТ при разработке настоящего справочника НДТ объясняется отсутствием в них разделов, посвященных НДТ в области очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, либо сведением НДТ к организационно-управленческим подходам.

В качестве источников информации об областях применения НДТ и о применяемых на практике технологиях, относящихся к НДТ, были использованы сведения, полученные в результате анкетирования предприятий, статистические сборники, результаты научно-исследовательских и диссертационных работ, иные источники, а также информация, полученная в ходе консультаций с экспертами в соответствующей области.

Предисловие

Цели, основные принципы и порядок разработки информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям установлены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1448 ([1]). Перечень областей применения наилучших доступных технологий определен распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р ([2]).

Основной целью разработки настоящего справочника НДТ является создание базового инструмента для внедрения НДТ в области очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях.

1 Статус документа

Настоящий справочник НДТ является документом по стандартизации и разработан в соответствии с положениями, требованиями и терминологией, изложенными в ПНСТ 21—2014, ПНСТ 23—2014 и ПНСТ 22—2014.

2 Информация о разработчиках

Настоящий справочник НДТ разработан технической рабочей группой «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» (ТРГ 22), состав которой утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 марта 2016 г. № 237 «О создании технической рабочей группы „Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях“» (в редакции приказа Росстандарта от 18 июля 2016 г. № 1045).

Перечень организаций и их представителей, принимавших участие в разработке настоящего справочника НДТ, приведен в разделе «Заключительные положения и рекомендации».

Настоящий справочник НДТ представлен на утверждение Бюро наилучших доступных технологий (далее - Бюро НДТ) (www.burondt.ru).

3 Краткая характеристика

Настоящий справочник НДТ содержит описания используемых в настоящее время в Российской Федерации универсальных подходов и методов, применимых при очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ на предприятиях, относящихся к

областям применения НДТ, определенным распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. №2674-р. Из этих подходов и методов выделены решения, признанные наилучшими доступными технологиями для приоритетных областей применения НДТ, включая, по возможности, соответствующие параметры экологической результативности, ресурсо- и энергоэффективности, а также экономические показатели.

4 Взаимосвязь с международными, региональными аналогами

Настоящий справочник НДТ разработан с учетом положений европейского справочника по наилучшим доступным технологиям «Европейская комиссия. Системы обработки/обращения со сточными водами и отходящими газами в химической промышленности, окончательный проект, июль 2016», исполнительного решения Европейской Комиссии 2016/902 от 30 мая 2016 г., устанавливающего выводы о выборе НДТ в соответствии с Директивой Европейского парламента и Совета ЕС 2010/75/ЕС «О промышленных выбросах» применительно к общепринятым системам обработки сточных вод и отходящих газов в химической промышленности и обращения с ними, Руководящего документа по технологиям регулирования выбросов серы, NO_x, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников (Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния).

5 Сбор данных

В целях сбора информации о применяемых на промышленных предприятиях технологических процессах, оборудовании, а также об источниках загрязнения окружающей среды, технологических, технических и организационных мероприятиях, направленных на снижение загрязнения окружающей среды и повышение энергоэффективности и ресурсосбережения, была подготовлена «Анкета для предприятий, содержащая формы для сбора данных, необходимых для разработки проекта справочника НДТ» (далее — Анкета). В качестве основы для формирования Анкеты был использован ПНСТ 23—2014 «Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий».

Анкета была направлена в адреса 906 крупных российских предприятий. Сведения, полученные в результате анкетирования предприятий, были использованы при разработке настоящего справочника НДТ.

6 Взаимосвязь с другими справочниками НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника НДТ с другими справочниками НДТ, разработанными или разрабатываемыми в соответствии с распоряжением Правительства

Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р, приведена в разделе «Область применения».

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Настоящий справочник НДТ утвержден приказом Росстандарта от 15 декабря 2016 г. № 1880.

Настоящий справочник НДТ введен в действие с 1 июля 2017 г., официально опубликован в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru).

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ОЧИСТКА ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ (ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ) ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ (ТОВАРОВ), А ТАКЖЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ И ОКАЗАНИИ УСЛУГ НА КРУПНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Purification of atmospheric discharge (pollutants) in manufacturing of products (goods), as well as performing works and providing services at large enterprises

Дата введения — 2017-07-01

Область применения

Настоящий справочник НДТ разработан во взаимосвязи с отраслевыми справочниками НДТ, разрабатываемыми в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р, и включает в себя описание универсальных подходов и методов, применимых при очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях, относящихся к областям применения НДТ, определенным распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р.

Настоящий справочник НДТ носит методический характер и содержит обобщенную информацию, сведения общего характера, общие подходы к межотраслевым технологиям, техническим и управленческим решениям по очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух. Справочник НДТ не содержит перечней маркерных веществ для каких-либо отраслей промышленности. В настоящем справочнике НДТ не рассматриваются специальные технологии, процессы или устройства для вовлечения в технологический процесс газов (с предварительной очисткой или без нее) в целях уменьшения величины выбросов вредных (загрязняющих) веществ или предотвращения их образования.

Рекомендации, содержащиеся в настоящем межотраслевом («горизонтальном») справочнике НДТ, могут применяться в случае отсутствия соответствующих рекомендаций в отраслевом («вертикальном») справочнике НДТ, к области применения которо-

го относится рассматриваемое предприятие (объект), в целях достижения технологических нормативов.

Для областей применения НДТ в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р разрабатываются соответствующие отраслевые («вертикальные») справочники НДТ.

По итогам обсуждения в ТРГ 22 в настоящий справочник НДТ включены виды экономической деятельности (в соответствии с ОК 029–2014 (КДЕС Ред. 2)), включенные в разделы:

- B — добыча полезных ископаемых;

- C — обрабатывающие производства;

- D — обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха.

В настоящем справочнике НДТ особо рассматриваются технологии очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях приоритетных областей применения НДТ применительно к целям настоящего справочника НДТ, в которых:

- объемы выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух сравнительно велики;

- проблемы, связанные с очисткой выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, достаточно специфичны, однако обладают и общими с другими отраслями характеристиками.

В настоящем справочнике НДТ особо не рассматриваются технологии очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на тех предприятиях:

- основной целью которых является обеспечение национальной и международной безопасности либо единственной целью которых является защита объектов и (или) территорий от природных катастроф;

- очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух которых осуществляется исключительно с помощью универсальных НДТ очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, приведенных в разделе 4 и (или) НДТ, специфичных для одной или нескольких областей применения НДТ, рассмотренных в разделе 5;

- очистка специфических выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух которых, по имеющейся информации, подробно рассматривается в соответствующих отраслевых («вертикальных») справочниках НДТ;

- обращение с выбросами вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух которых и (или) с загрязняющими веществами, содержащимися в таких выбросах, регулируется специальным законодательством;

- основной целью которых является обеспечение энергетической безопасности населения и предприятий Российской Федерации путем бесперебойного энергоснабжения электрической и тепловой энергией в режиме комбинированного производства.

Настоящий справочник НДТ подлежит применению на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду и отнесенных в соответствии с критериями, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 28 сентября 2015 г. № 1029 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий», ко всем объектам I категории, а также к объектам II категории, перечисленным ниже: подпункты а), в) — н), ч) в части обезвреживания отходов производства и потребления IV и V классов опасности (с проектной мощностью менее 3 т/ч); обеззараживания и (или) обезвреживания биологических и медицинских отходов (с проектной мощностью менее 10 т/сут); захоронения отходов производства и потребления IV и V классов опасности, включая твердые коммунальные отходы (менее 20 тыс. т/год).

Раздел 1. Общая информация о выбросах вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях

При производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях в атмосферный воздух выбрасывается более 17 000 тыс. т/год загрязняющих веществ, из которых только 75,6 % подвергаются очистке. На рисунке 1 представлен общий объем выбросов загрязняющих веществ в Российской Федерации в 2014 году.

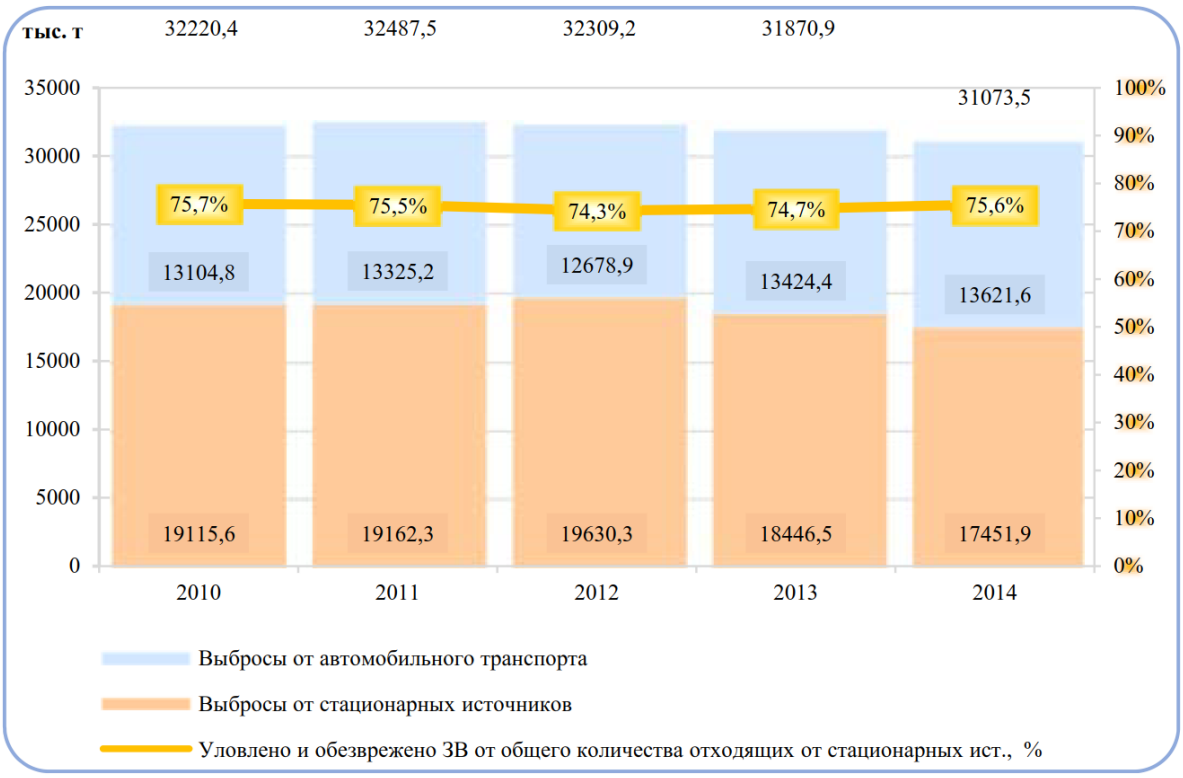

Рисунок 1 — Общий объем выбросов загрязняющих веществ в Российской Федерации

По объемам выбросов в атмосферный воздух от стационарных источников на первом месте располагаются обрабатывающие производства (третья часть суммарного объема по России) — за счет металлургического производства. Другой крупный блок источников загрязнения атмосферного воздуха образуют предприятия по добыче полезных ископаемых (27,2 %), в первую очередь предприятия, занимающиеся добычей сырой нефти и нефтяного (попутного) газа. Значительные объемы выбросов в атмосферу характерны для предприятий топливно-энергетического комплекса, связанных с производством, передачей и распределением электроэнергии, а также с транспортированием по трубопроводам газа и продуктов его переработки. На рисунке 2 представлены соотношения объема выбросов от стационарных источников по видам экономической деятельности.

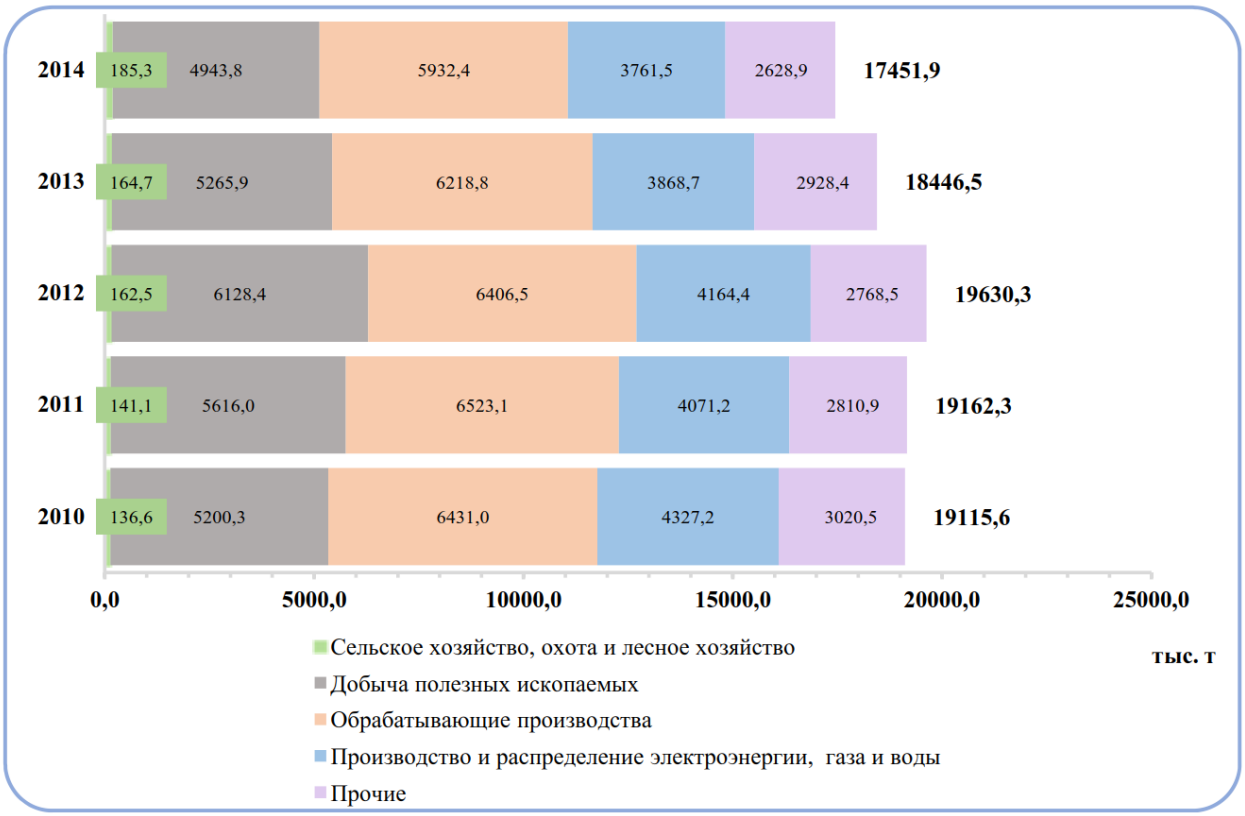

Рисунок 2 — Соотношения объема выбросов от стационарных источников по видам экономической деятельности

На рисунке 3 представлено количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на единицу площади в 2014 году.

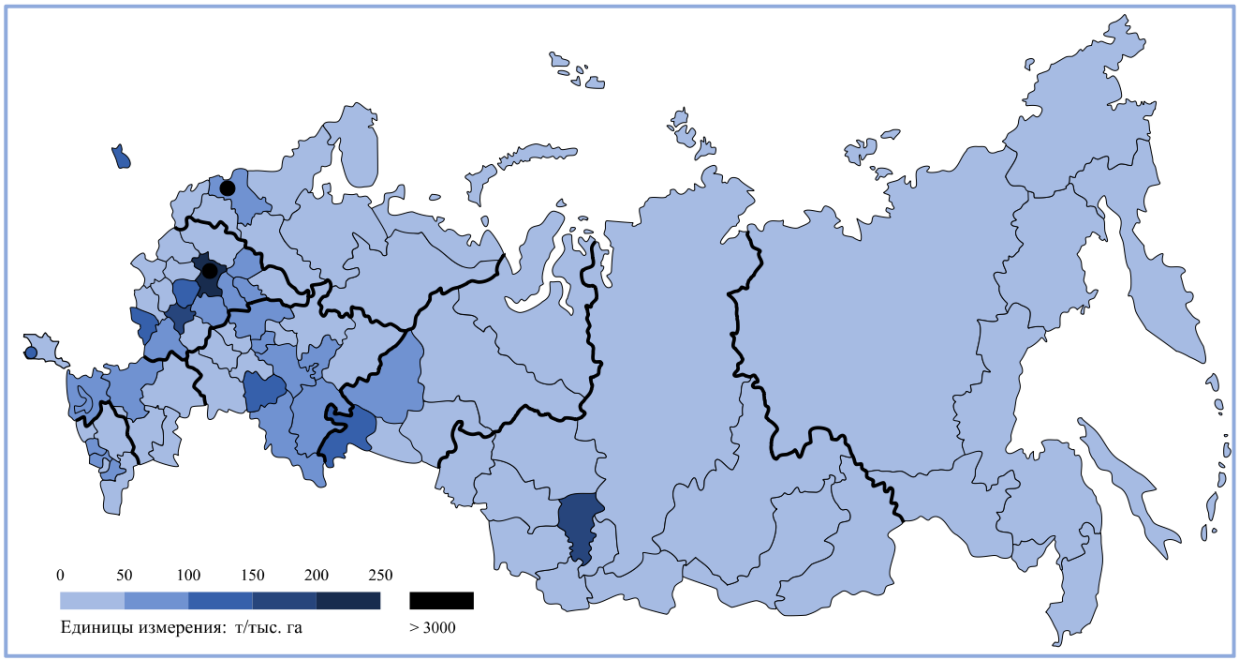

Рисунок 3 — Количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на единицу площади в 2014 году

Статистический инструментарий, предусматривающий федеральное статистическое наблюдение за загрязнением атмосферного воздуха, устанавливает основные загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу: взвешенные вещества (2902), диоксид серы (330), оксид углерода (337), оксиды азота в пересчете на NO_2 (301), углеводороды (415, 416) с учетом летучих органических соединений, исключая метан, а также специфические загрязняющие вещества, характерные для отдельных территорий, в том числе бенз(а)пирен (703), серная кислота (322), метан (410) и др.

В таблице 1 представлены выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух в Российской Федерации в 2007–2014 годах.

Таблица 1 — Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух в Российской Федерации в 2007–2014 годах (данные Росстата и Росприроднадзора)

Показатель		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Общий объем выбросов, от стационарных источников и автомобильного транспорта, тыс. т/год, из них:		35303,5	33691,7	32559,8	32220,4	32487,5	32309,2	31870,9	31073,5
- от стационарных источников, тыс. т/год		20636,9	20103,3	19021,2	19115,6	19162,3	19630,3	18446,5	17451,9
- от автомобильного транспорта, тыс. т/год		14666,6	13588,4	13538,6	13104,8	13325,2	12678,9	13424,4	13621,6
Общий объем выбросов от железнодорожного транспорта, тыс. т/год		Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	140,0	159,5	192,5	154,2
Объем выбросов SO_2 — сера диоксид (ангидрид сернистый) (330)	Всего, тыс. т/год	4678,1	4644,1	4480,6	4497,9	4454,7	4415,4	4249,2	4113,3
	От стационарных источников, тыс. т/год	4573,1	4534,1	4370,6	4385,3	4342,7	4340,9	4173,3	4036,3
	От автомобильного транспорта, тыс. т/год	105,0	110,0	110,0	112,6	112,0	74,5	75,9	77,0
Объем выбросов CO —	Всего, тыс. т/год	17450,4	16259,5	15603,5	15341,7	15816,3	16092,9	15757,5	15493,0

Показатель		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
углерод оксид (337)	От стационарных источников, тыс. т/год	6448,4	6091,5	5500,5	5565,1	5753,5	6001,8	5350,9	4938,4
	От автомобильного транспорта, тыс. т/год	11002,0	10168,0	10103,0	9776,6	10062,8	10091,1	10406,6	10554,6
Объем выбросов взвешенных веществ (2902)	Всего, тыс. т/год	2793,4	2757,2	2394,1	2435,0	2327,3	2273,1	2033,4	1947,4
	От стационарных источников, тыс. т/год	2743,4	2704,2	2341,1	2381,2	2283,1	2249,4	2008,5	1922,2
	От автомобильного транспорта, тыс. т/год	50,0	53,0	53,0	53,8	44,2	23,7	24,9	25,3
Объем выбросов NH_3 — аммиак (303)	Всего, тыс. т/год	н/д	н/д	н/д	69,7	70,4	80,7	81,9	86,7
	От стационарных источников, тыс. т/год	41,6	39,2	40,3	42,2	44,0	47,5	46,6	51,0
	От автомобильного транспорта, тыс. т/год	Н/д	Н/д	Н/д	27,5	26,4	33,2	35,3	35,7
Объем выбросов NO_x (в пересчете на NO_2 — диоксид азота	Всего, тыс. т/год	3635,8	3660,6	3561,5	3656,9	3561,9	3356,5	3333,3	3288,4
	От стационарных источников, тыс. т/год	1732,8	1816,6	1730,5	1855,2	1880,0	1937,5	1874,2	1805,5

Показатель		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
(301)	От автомобильного транспорта, тыс. т/год	1903,0	1844,0	1831,0	1801,7	1681,9	1419,0	1459,1	1482,9
Объем выбросов НМ ЛОС	Всего, тыс. т/год	3447,6	2872,0	2913,0	2885,1	2966,6	2552,1	2823,8	2730,0
	От стационарных источников, тыс. т/год	1908,6	1532,0	1546,0	1605,3	1622,8	1638,2	1455,8	1340,0
	От автомобильного транспорта, тыс. т/год	1539,0	1340,0	1367,0	1279,8	1343,8	913,9	1368,0	1390,0
Объем выбросов от стационарных и автомобильных источников на душу населения, т/чел.		0,247	0,236	0,228	0,226	0,227	0,225	0,222	0,212
Объем выбросов от стационарных и автомобильных источников на единицу ВВП, т/млн руб.		1,24	0,96	0,96	0,80	0,68	0,61	0,56	0,51

Законодательство Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха основывается на Конституции Российской Федерации, Федеральном законе от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» и принимаемых в соответствии с ним других федеральных законах и иных нормативных правовых актах Российской Федерации, а также законах и иных нормативных правовых актах субъектов Российской Федерации. Законодательство субъектов Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха может предусматривать введение дополнительных экологических требований охраны атмосферного воздуха.

Развитие российского нормативно-правового поля осуществляется в соответствии с международными подходами (практиками) в области охраны атмосферного воздуха, в основе которых лежат принципы приоритета охраны жизни и здоровья человека, обеспечения благоприятных условий для жизни, труда и отдыха, недопущения

необратимых последствий загрязнения атмосферного воздуха для окружающей среды, обязательности государственного регулирования выбросов вредных (загрязняющих) веществ и вредных физических воздействий на атмосферный воздух, гласности, полноты и достоверности информации о состоянии атмосферного воздуха и его загрязнении и др.

Правовые инструменты для реализации этих принципов включают:

- установление нормативов качества атмосферного воздуха и нормативов выбросов и вредных физических воздействий;

- государственную регистрацию новых загрязняющих и потенциально опасных веществ;

- получение разрешения на выброс и оказание вредного физического воздействия;

- государственный учет вредных воздействий, ведение мониторинга атмосферного воздуха, инвентаризация выбросов и вредных физических воздействий и их источников.

Соответствующие требования определены применительно к различным стадиям хозяйственной деятельности (проектированию и размещению предприятий, их строительству, реконструкции, вводу в эксплуатацию и эксплуатации), к обращению с различными веществами (транспортирование и использование пестицидов и агрохимикатов, озоноразрушающих веществ, опасных отходов, пылящих материалов и т. д.), к функционированию отдельных групп объектов (опасных производственных объектов, автомобильного и иного транспорта, объектов атомной энергетики).

Важнейшим инструментом охраны атмосферного воздуха является нормирование. В настоящее время в систему нормативов включены:

- предельно допустимые уровни физического воздействия на атмосферный воздух, отражающие предельно допустимый максимальный уровень, при котором отсутствует вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду;

- предельно допустимые нормативы вредного физического воздействия на атмосферный воздух, которые устанавливаются для каждого источника шумового, вибрационного, электромагнитного и других физических воздействий на атмосферный воздух, при которых вредное физическое воздействие от данного и от всех других источников не приведет к превышению предельно допустимых уровней физического воздействия на атмосферный воздух;

- технологические нормативы выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, которые устанавливаются для технологических процессов основ-

ных производств и оборудования, отнесенных к областям применения НДТ, с применением технологического показателя выброса;

- технические нормативы выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, которые определяются как объем или масса химического вещества либо смеси химических веществ в расчете на единицу пробега транспортного средства или единицу произведенной работы двигателя передвижного источника;

- предельно допустимые (критические) нагрузки, являющиеся показателем воздействия одного или нескольких вредных (загрязняющих) веществ на окружающую среду, превышение которых может привести к вредному воздействию на нее;

- предельно допустимый выброс вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который определяется как объем или масса химического вещества либо смеси химических веществ, микроорганизмов, иных веществ как показатель активности радиоактивных веществ, допустимый для выброса в атмосферный воздух стационарным источником и (или) совокупностью стационарных источников, и при соблюдении которого обеспечивается выполнение требований в области охраны атмосферного воздуха;

- временно согласованный выброс, представляющий собой временный лимит выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для действующих стационарных источников выбросов с учетом качества атмосферного воздуха и социально-экономических условий развития соответствующей территории в целях поэтапного достижения установленного предельно допустимого выброса (с 1 января 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ вместо временно согласованного выброса будет устанавливаться временно разрешенный выброс — показатель объема или массы вредного (загрязняющего) вещества, устанавливаемый для действующего стационарного источника и (или) совокупности действующих стационарных источников на период поэтапного достижения предельно допустимого выброса или технологического норматива выброса);

- гигиенический норматив качества атмосферного воздуха, представляющий собой критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание в нем вредных (загрязняющих) веществ и при котором отсутствует вредное воздействие на здоровье человека. При этом в соответствии с мировой практикой в Российской Федерации устанавливают, как правило, два гигиенических норматива для вредных (загрязняющих) веществ: норматив, рассчитанный на короткий период воздействия вредных (загрязняющих) веществ (предельно допусти-

мые максимально-разовые концентрации) и норматив, рассчитанный на более продолжительный период воздействия (8 ч, 1 сут, по некоторым веществам — 1 год);

- экологический норматив качества атмосферного воздуха, представляющий собой критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание в нем вредных (загрязняющих) веществ и при котором отсутствует вредное воздействие на окружающую среду.

Несоответствие гигиеническим и экологическим нормативам качества атмосферного воздуха приводит к нарушению его физических, химических и биологических свойств в совокупности, т. е. нарушение качества атмосферного воздуха в результате изменения состава его основных компонентов.

Таким образом, основными критериями определения качества атмосферного воздуха являются гигиенические и экологические нормативы его качества, которые устанавливаются в целях определения безопасности и (или) безвредности воздействия химических, физических и биологических факторов на людей, растения и животных, особо охраняемые природные территории и объекты. Эти критерии предназначены для отражения предельно допустимого содержания вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, при котором отсутствуют либо вредное воздействие на организм человека (гигиенический норматив качества атмосферного воздуха), либо вредное воздействие на окружающую среду (экологический норматив качества атмосферного воздуха).

В целях снижения выбросов вредных (загрязняющих) веществ или предотвращения их образования на предприятиях используют специальные технологии, процессы или устройства для очистки газа и (или) его вовлечения в технологический процесс (в настоящем справочнике НДТ не рассматриваются), а также первичные мероприятия по предотвращению образования выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух.

Для очистки и (или) обезвреживания выбросов вредных (загрязняющих) веществ непосредственно в атмосферный воздух используют различные сооружения, оборудование, аппаратуру, рассмотрение которых является предметом настоящего справочника НДТ. При этом используют такой показатель, как степень очистки газа (*ндп.* эффективность очистки газа), представляющий собой отношение массы извлеченного из газа или прореагировавшего загрязняющего вещества к массе загрязняющего вещества, присутствующего в газе до очистки [ГОСТ 17.2.1.04—77].

Также в целях обезвреживания выбросов вредных (загрязняющих) веществ непосредственно в атмосферный воздух применяют метод улучшения рассеивания

выбрасываемых вредных веществ в атмосферном воздухе за счет оптимизации характеристик устройств отведения газа и конструкций источников выбросов: обычно применяют увеличение высоты труб до 100–150 м для обеспечения хорошего разбавления примесей при достижении поверхности земли за счет рассеивания в атмосфере при переносе загрязняющих веществ ветром.

Повышение температуры выбрасываемых газов увеличивает разность плотностей их и окружающего воздуха, а следовательно, подъемную силу и вертикальную скорость выбросов. Это способствует их подъему на большую высоту, рассеиванию на увеличенном пространстве, снижению приземных концентраций примесей. Такое же влияние оказывают высота трубы и количество выбрасываемых в единицу времени объемов газов. Вертикальные потоки оказывают решающее влияние на рассеивание в условиях безветрия.

В большинстве случаев при проектировании промышленных предприятий методы очистки газа и улучшения рассеивания применяют комплексно. При этом, как показала практика, применения только одного метода (увеличение высоты труб) в ряде случаев недостаточно для соблюдения требований законодательства к качеству атмосферного воздуха или экономически нецелесообразно.

Общий объем выбросов от стационарных источников в Российской Федерации в целом продолжает сокращаться. Однако в ряде федеральных округов (Северо-Западный, Южный, Дальневосточный, Центральный) объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников с 2007 года практически не уменьшается.

Одним из наиболее перспективных экономических инструментов ограничения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух представляется внедрение системы нормирования негативного воздействия на окружающую среду, основанной на принципах НДТ и предусматривающей использование технологических показателей выброса, представляющих собой показатель концентрации вредного (загрязняющего) вещества, объема или массы выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух в расчете на единицу времени или единицу произведенной продукции (товара), характеризующих технологические процессы и оборудование.

В контексте настоящего справочника НДТ следует учитывать, что технологические подходы к очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, применяемые в Российской Федерации, не только не отличаются от подходов, внедренных за рубежом, но в отдельных случаях имеют более высокую экологическую эффективность и экономическую целесообразность. Многие НДТ, разработанные и ис-

пользуемые в государствах — членах ЕС, уже успешно применяются на предприятиях Российской Федерации.

Настоящий справочник НДТ создает информационно-техническую основу для внедрения системы нормирования и стандартизации на основе НДТ, стимулирует предприятия Российской Федерации к снижению уровня антропогенного воздействия на атмосферный воздух. Его необходимо использовать при выборе и внедрении хорошо зарекомендовавших себя на отечественном рынке техники и технологических решений для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, способствуя импортозамещению в рассматриваемой сфере деятельности.

Раздел 2. Описание технологических процессов, применяемых в настоящее время для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях в приоритетных областях применения НДТ

2.1 Общие подходы к очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях

Количество предприятий, отнесенных к области применения настоящего справочника НДТ, определяется в соответствии с критериями отнесения объектов, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду и относящихся к областям применения НДТ, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 28 сентября 2015 г. № 1029, а также перечнем областей применения НДТ, утвержденных распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р.

При формировании настоящего справочника НДТ были использованы анкеты, полученные от 63 предприятий в результате рассылки по 906 предприятиям, а также информация еще по 113 предприятиям, собранная экспертным сообществом. Уровень предоставления информации в полученных анкетах значительно различался. Данные о количестве крупных предприятий, которым разосланы приглашения для представления информации в настоящий справочник НДТ, и их распределение по округам Российской Федерации представлены на рисунке 4.

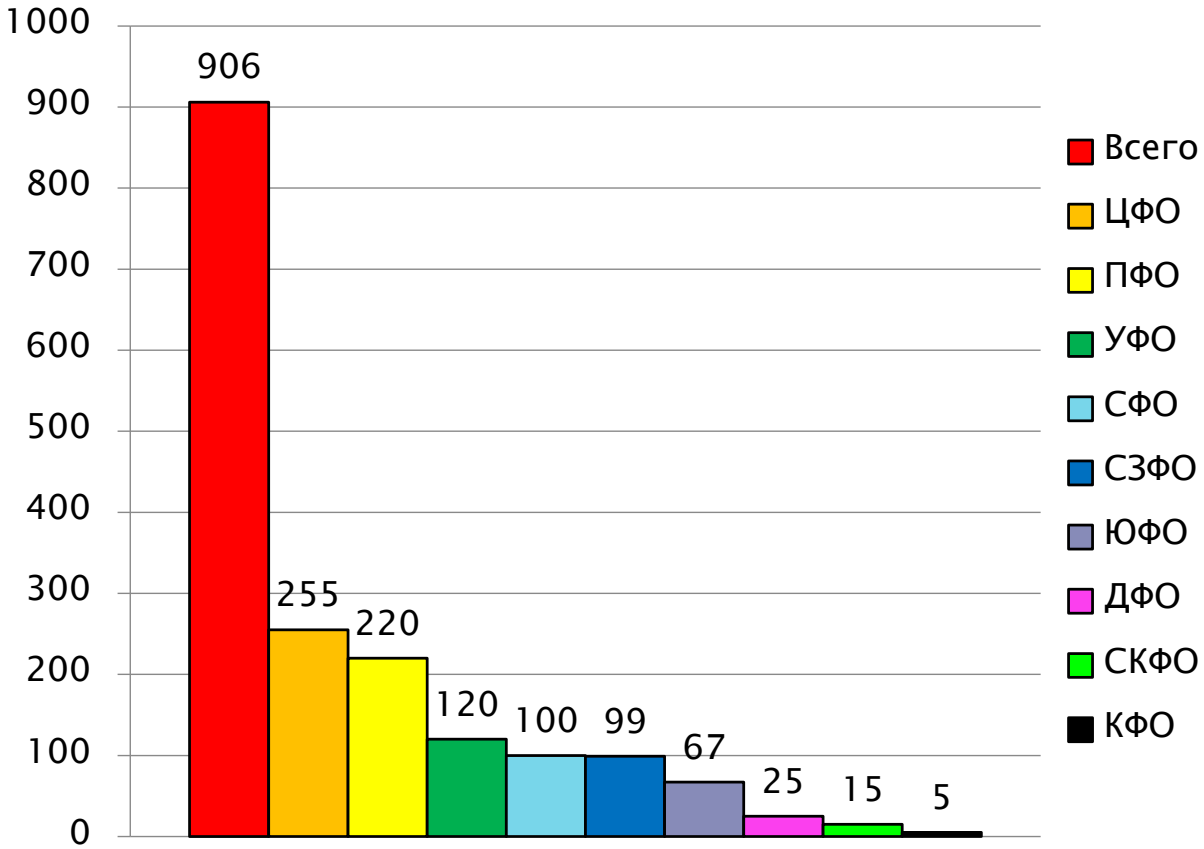

Рисунок 4 — Количество крупных предприятий, которым разосланы приглашения для представления информации в настоящий справочник НДТ, и их распределение по округам Российской Федерации

Из 906 крупных предприятий, которым были разосланы приглашения для представления информации в настоящий справочник НДТ, заполненные анкеты представили всего 63 предприятия. В этих анкетах представлено 49 видов газоочистных установок. Анкеты содержат информацию о разном количестве газоочистного оборудования — от 1 до 131 газоочистной установки. Общее количество установок — 901 единица, среди которых имеются единичные и многоступенчатые (18 комбинаций) установки. На рисунке 5 представлены методы газоочистки, соответствующие газоочистному оборудованию, указанному в анкетах, полученных от 63 предприятий.

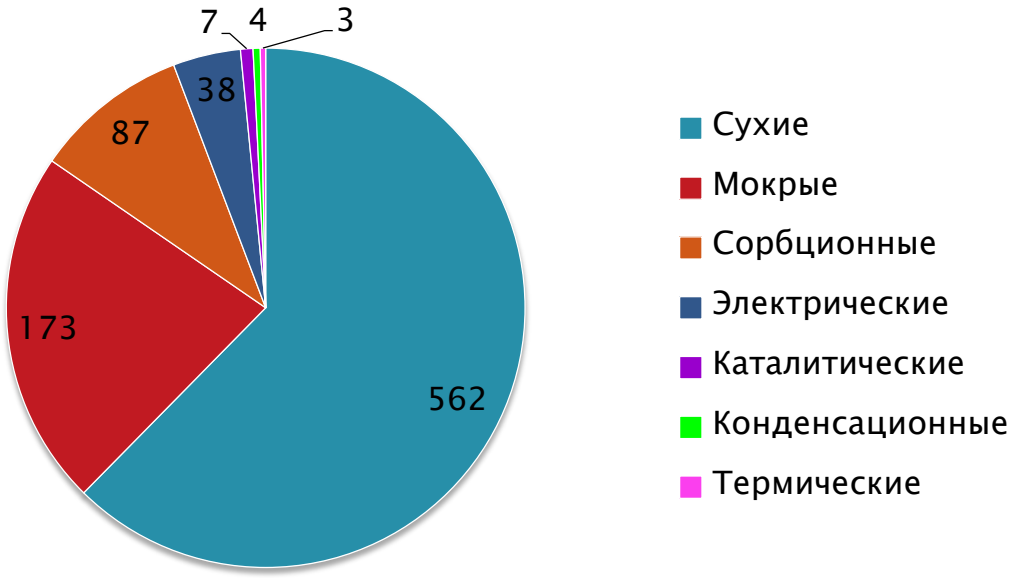

Рисунок 5 — Методы газоочистки, соответствующие газоочистному оборудованию, указанному в анкетах, полученных от 63 предприятий

На рисунке 6 приводятся данные, характеризующие ранжирование газоочистных установок по годам введения в эксплуатацию.

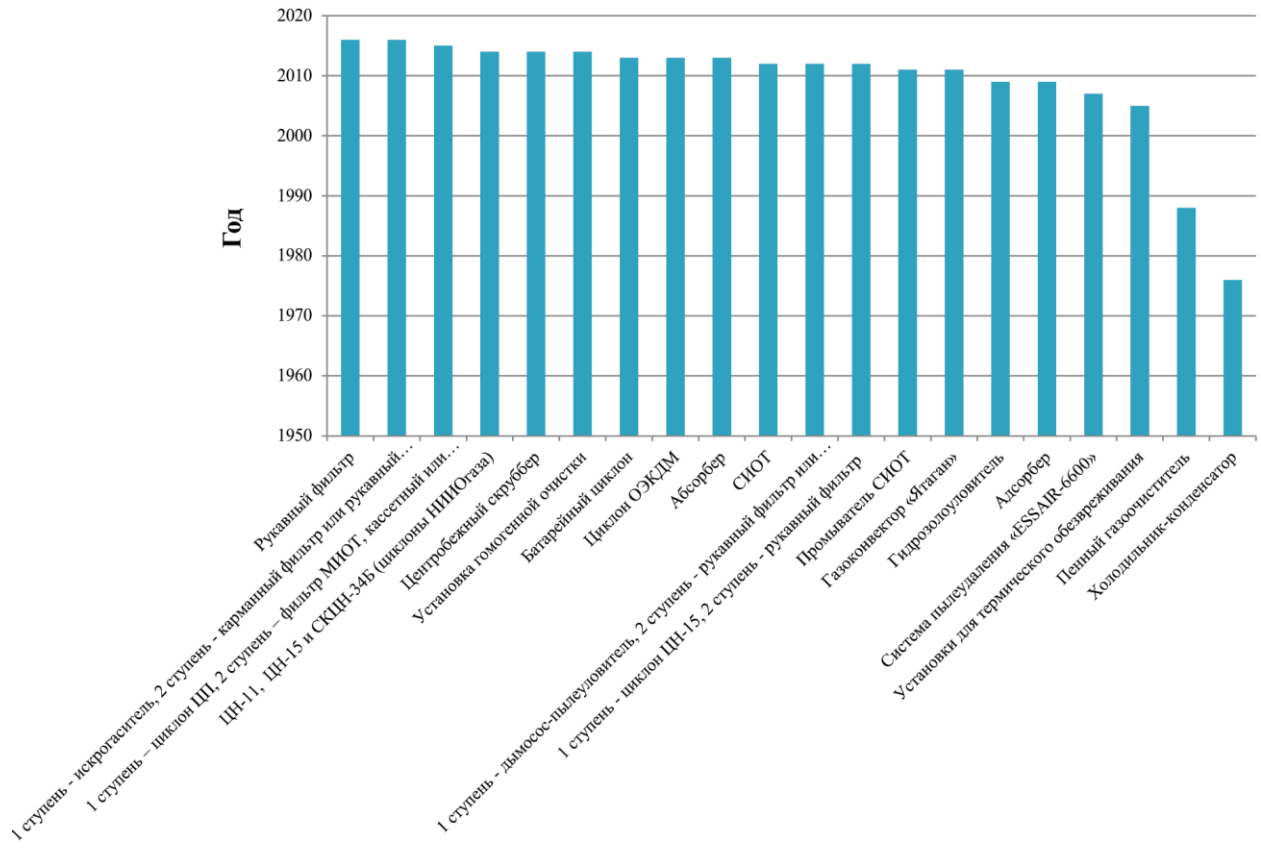

Рисунок 6 — Ранжирование газоочистных установок
по годам введения в эксплуатацию

При разработке настоящего справочника НДТ данные, содержавшиеся в вышеуказанных анкетах, составили информационную основу для описания технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, применяемых при очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях в Российской Федерации.

Установленные требования к анонимизации представленной предприятиями информации не допускают возможности ссылок на наименования промышленных объектов, на которых были внедрены те или иные технологические подходы, в тексте настоящего справочника НДТ. Вместе с тем представляется некорректным давать конкретные данные о количестве внедрений по данным проанализированных анкет вследствие отсутствия репрезентативности проанализированной выборки. Исходя из этого, авторы настоящего справочника НДТ при описании количества внедрений тех или иных технологических подходов сочли возможным оперировать экспертно-значимыми оценками количества внедрений. Таким образом, далее по тексту в тех случаях, когда речь идет о внедрении на большинстве предприятий, подразумевается внедрение на 50 % проанализированных предприятий или более, на многих предприятиях — от 15 % до

50 %, на ряде предприятий — от 5 % до 15 %, на нескольких предприятиях — от 2 % до 5 %, на отдельных предприятиях — до 2 %.

Решение об извлечении загрязняющих веществ из отходящих газов зависит от применения дополнительных технологических операций, направленных на разделение материалов, содержащихся в отходящих газах.

Некоторые из технологических подходов представляют собой самостоятельные технологические операции и (или) процессы, другие используются только в качестве дополнительных методов предварительной обработки, направленных на предотвращение повреждения основного очистного оборудования или предварительной фильтрации.

Анализ анкет позволил сформировать подраздел 2.2, в котором приведена характеристика выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях, относящихся к приоритетным областям применения НДТ. При этом общие технологические подходы к очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, применяемые на многих предприятиях, были представлены в подразделе 2.3, а применение этих подходов для очистки выбросов в атмосферный воздух от основных вредных (загрязняющих) веществ — в подразделе 2.4.

На ряде предприятий Российской Федерации существует практика внедрения системы управления газоочистными сооружениями с возможностью их совершенствования и модернизации, автоматизированного управления, повышения эффективности очистки, основанная на анализе результатов контроля качества выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух.

Образующиеся отходящие газы обрабатывают с применением технологических подходов, обеспечивающих извлечение веществ, содержащихся в отходящих газах, с последующим их возвращением в исходный технологический процесс или использованием в другом процессе в качестве сырья или энергоносителя, или их удаление в качестве загрязняющих веществ.

Имеются сведения о разработке и осуществлении инвестиционных программ реконструкции и технического перевооружения основного производственного цикла, направленные прежде всего на повышение объемов выпускаемой продукции и улучшение ее качества. За счет использования более современного оборудования одновременно снижаются и негативные воздействия на окружающую среду.

На многих предприятиях внедряют системы экологического менеджмента, сертифицированные на соответствие ГОСТ Р ИСО 14001 с учетом значимых экологических аспектов. На нескольких из них подобные системы внедряются исключительно с

целью достижения соответствия требованиям внешних рынков или по иным причинам, не имеющим отношения к улучшению экологических составляющих работы предприятия. Однако на большинстве предприятий целью внедрения систем экологического менеджмента все же является повышение эффективности управления природоохранной деятельностью и обеспечения экологической безопасности производства.

В целом предприятия сообщают о позитивных результатах внедрения системы экологического менеджмента как с точки зрения финансовых показателей (снижение платы за негативное воздействие на окружающую среду), так и по натуральным показателям (сокращение удельного объема выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух). Однако следует учитывать, что системы экологического менеджмента, как правило, внедряются на социально ответственных предприятиях.

На ряде предприятий сокращение выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух проводится в рамках мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций.

Отдельные предприятия повышают эффективность работы газоочистного оборудования посредством реализации программы сокращения энергопотребления, проводя энергетический аудит основных технологических операций, осуществляя модернизацию оборудования, а также обучая персонал, занятый в области очистки вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, основам организации энергопотребления.

В целях сокращения энергопотребления при обращении с газовыми выбросами применяются системы рекуперации тепла экзотермических реакций посредством:

- контактного теплообмена рабочих сред различных температур;

- выработки пара низкого давления или других продуктов.

На отдельных предприятиях мероприятия по сокращению выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух связаны с минимизацией потерь сырья, полупродуктов, продуктов и вспомогательных материалов и реагентов.

В целях постоянной оптимизации процессов очистки вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и обеспечения стабильного и бесперебойного функционирования газоочистного оборудования применяется производственный контроль технологических процессов — аналитический контроль (лабораторный и преимущественно автоматический), включающий контроль выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на газоанализаторах. Показатели, подлежащие контролю, а также периодичность контроля определяют в зависимости от категории объ-

екта, оказывающего негативное воздействие на окружающую среду, с учетом положений ГОСТ Р 56061—2014.

Выбор технологических подходов, методов, мер и мероприятий, направленных на очистку выбросов от вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, определяется составом и особенностями конкретных областей применения НДТ, рассмотренных ниже. Общие подходы к выбору технологий, методов, мер и мероприятий, направленных на сокращение и очистку выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, приведены в пункте 2.3.7.

2.2 Характеристика выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух в приоритетных областях применения НДТ

В настоящем подразделе приведена характеристика выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях, относящихся к приоритетным областям применения НДТ. Приоритетные области применения НДТ были выделены из «Перечня областей применения наилучших доступных технологий» (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р) исходя из объемов образования выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, наличия экологических проблем и пр. Термин «приоритетные» в контексте областей применения НДТ используется исключительно в рамках настоящего справочника НДТ и, соответственно, не подлежит регламентированию на уровне национальной системы стандартизации и не влечет за собой дополнительных нормативно-правовых последствий.

2.2.1 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях энергетического комплекса

Основными компонентами, выбрасываемыми в атмосферу при сжигании различных видов топлива в энергоустановках, являются: водяной пар, углерод (сажа) (328), сланцевая зола (2903), мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий) (2904), угольная зола теплоэлектростанций (2926), неорганическая пыль, содержащая двуокись кремния менее 20 % двуокиси кремния (2909), взвешенные вещества (2902), диоксид серы (330), оксид углерода (337), оксид азота (II) (304), диоксид азота (304), бенз(а)пирен (703), а также другие компоненты, связанные со спецификой конкретных месторождений топливно-энергетических ресурсов.

На современной теплоэлектростанции мощностью 2,4 млн кВт расходуется до 20 тыс. т угля в сутки, что сопровождается выбросами в атмосферу в сутки в среднем: 680 т диоксида серы (330) и триоксида серы при содержании серы в топливе 1,7 %; 200 т оксидов азота (301, 304); 120–240 т твердых частиц, в том числе золы (2904), неорганической пыли, содержащей менее 20 % двуокиси кремния (2909), углерод (сажа) (328) — при степени очистки 94 % — 98 %.

Дымовые газы, образующиеся при сжигании мазута, содержат: диоксид азота (301), оксид азота (II) (304), диоксид серы (330), углерод (сажу) (328), оксид углерода (337), бенз(а)пирен (703), мазутную золу теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий) (2904).

При сжигании газообразного топлива (природного, попутного нефтяного газа, синтез-газа и т. п.) концентрации загрязняющих (вредных) веществ в отходящих дымовых газах минимальны относительно использования жидких или твердых теплоносителей.

2.2.2 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности

Основными технологическими процессами нефтеперерабатывающей промышленности, сопровождающимися наибольшими выбросами вредных (загрязняющих) веществ, являются:

- извлечение серы;
- регенерация катализаторов крекинга в псевдоожиженном слое;
- печи и котлы.

Потенциальными источниками выбросов вредных (загрязняющих) веществ являются:

- емкости для хранения сырья и продуктов;
- системы смешения продуктов;
- системы сепарации воды и нефти;
- системы продувки и газовые факелы.

Летучие углеводороды, которые могут выбрасываться через клапаны, фланцевые соединения, соединения компрессоров, насосов, емкостей, классифицируют как неорганизованные выбросы.

В среднем на каждый миллион тонн обработанной сырой нефти уровень выбросов составляет 20–820 тыс. т диоксида углерода (380), 60–700 т оксидов азота (301, 304), 10–3000 т взвешенных веществ (2902), 30–6000 т оксидов серы (330) и 50–6000 т

летучих органических соединений (ЛОС). Широкий диапазон приведенных показателей объясняется различными степенями интеграции и типами нефтеперерабатывающих заводов.

Большинство выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на нефтеперерабатывающих производствах токсичны, некоторые — взрывоопасны. К наиболее существенным вредным (загрязняющим) веществам относят оксиды серы (330), оксиды углерода (337), оксиды азота (301, 304), углеводороды, дигидросульфид (333), меркаптаны (1716) и твердые частицы (углерод (сажа) (328)), пыль катализаторов и т. п. Количество выделяющихся вредных (загрязняющих) веществ зависит от свойств и состава сырья, способа его переработки и требованиям к конечной продукции. Так, при термической переработке нефти в интервале температур 400 °С — 500 °С выделяются канцерогенные углеводороды (типа бенз(а)пирена (703)). Максимальные концентрации бенз(а)пирена (703) наблюдаются в 500-метровой зоне; на границе санитарно-защитной зоны (обычно 1000 м) концентрации снижаются в 3,5–6 раз, на расстоянии 4000 м — в 22 раза.

Одним из основных вредных (загрязняющих) веществ является диоксид серы (330). Источником диоксида серы (330) являются дымовые газы котлов и технологических печей, отходящие газы регенерации катализаторов на установках крекинга, отходящие газы факельного сжигания, хвостовые газы установок производства серной кислоты и элементарной серы.

Основными источниками выбросов оксида углерода (337) являются трубчатые печи, реакторы каталитического крекинга, выхлопы газовых компрессоров, битумные установки, факелы.

Оксиды азота (301, 304) образуются преимущественно в технологических печах, газомоторных компрессорах, котлах, факелах.

Твердые вещества выбрасываются на узлах рассеивания и пневмотранспорта катализатора, регенераторах установок каталитического крекинга, факелах, вентиляционных системах.

Углеводородные компоненты выделяются при эксплуатации резервуаров, наличии неплотностей технологического оборудования, на объектах очистных сооружений, нефтеотделителях и градирнях, вакуумсоздающих системах, сливо-наливных эстакадах, а также с вентиляционными выбросами.

2.2.3 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях химической промышленности

Выбросы предприятий химической промышленности характеризуются сложным комплексом органических и неорганических соединений. Количество выбрасываемой в атмосферу пыли (2909) сравнительно невелико.

2.2.3.1 Производства неорганической химии

Производство серной кислоты. При контактном способе получения серной кислоты выходящий из обжиговой печи сернистый газ загрязнен огарковой пылью (2909) и другими примесями. Содержание в нем пыли зависит от качества помола сырьевых материалов, конструкции печей и других факторов. Химический состав пыли (2909) практически не отличается от состава огарка. Эти газы подлежат очистке перед переработкой в серную кислоту. При контактном способе диоксид серы окисляют в триоксид серы на катализаторах (контактная масса на основе V_2O_5). Содержащаяся в печных газах пыль (2909) и другие примеси отравляют катализатор. Кроме того, пыль (2909) засоряет аппаратуру, увеличивает ее гидравлическое сопротивление, переходит в продукт и ведет к ряду других затруднений в технологическом процессе. Поэтому печные газы подвергают дополнительной очистке.

Производство аммиака. На различных технологических стадиях производства аммиака — начиная от колонны синтеза и заканчивая наливом жидкого аммиака в железнодорожные цистерны для отправки потребителю — возможны его выбросы в атмосферу. Наиболее значительные выбросы происходят при продувке инертных газов (содержание аммиака (303) — до 20 %) и при заполнении аммиаком различных емкостей, а также при наличии неплотностей в оборудовании (так называемые танковые газы с содержанием аммиака (303) до 60 %).

Производство азотной кислоты. При производстве концентрированной азотной кислоты содержание оксидов азота (301, 304) в отходящих газах составляет до 19 %.

Производство фосфора и фосфорной кислоты. Производство отличается большим количеством неорганизованных выбросов. Аспирационные газы, отсасываемые из помещения, содержат 2,5–38 г/м^3 пыли (2909), а также соединения фосфора и фтора. На стадии подготовки сырья источниками пылевых выбросов служат установки размельчения и сушки кокса и кварцита, размола фосфорита, грануляции и обжига.

В некоторых вариантах технологических схем производства фосфорной кислоты отходящие газы содержат туманы кислоты (348) и соединения фосфора.

Производство соляной кислоты. Очистке подвергают не поглощенные в абсорбере хлористый водород, инертные газы и водяные пары.

Производство хлора. В отходящих газах электролизных цехов содержится до 80 % — 90 % хлора (349), который выделяют из смеси (хлорид натрия и соляная кислота) в виде товарного продукта методом сжижения. Однако образующиеся газы содержат некоторое количество хлора (349), что требует их доочистки. В результате испарения с поверхности электролитической ванны хлор (349) обнаруживается в вентиляционных выбросах.

Производство хлорной извести. В отходящих газах содержится до 1–1,5 г/м^3 свободного хлора (349).

Производство минеральных удобрений. Минеральные удобрения обычно производят, используя в качестве сырья основные химические продукты, которые соединяют, гранулируют и высушивают в технологических установках с использованием большого количества воздуха.

Основными компонентами отходящих газов при получении фосфорных удобрений (простой суперфосфат, двойной суперфосфат, преципитат, фосфатная мука, томасшлак, термофосфат) являются взвешенные вещества (2902), аммиак (303) и фтористые газы (342). Количество и состав отходящих газов различны в зависимости от вида получаемого удобрения и технологической стадии производства. Расход газов составляет 20–50 тыс. м^3/ч, содержание общего фтора (342) — 0,1–40 г/м^3, содержание взвешенных веществ (2902) — 10–70 г/м^3; в ряде газов взвешенные вещества (2902) отсутствуют, а содержание общего фтора (342) составляет менее 0,1 г/м^3.

Азотные удобрения (аммиачная селитра, сульфат аммония, натриевая селитра, кальциевая селитра, известково-аммиачная селитра, карбамид (мочевина)). Производство аммиачной селитры связано с выбросами сокового пара, содержащего брызги аммиачной селитры (305) и аммиака (303). Кроме того, сушка аммиачной селитры связана с образованием пыли такого же состава. Выбросы при производстве карбамида (мочевины) (1532) содержат аммиак (303), формальдегид (1325), твердые частицы, например пыль (2909) при пересыпке с транспортера в бункеры, при затаривании в мешки и т. д. Аммиак (303) образуется при синтезе (образовании раствора) и в процессах грануляции. Наличие формальдегида (1325) связано с его добавлением для предотвращения отверждения расплава карбамида (1532) при концентрациях в 0,5 % или меньше до грануляции.

Выбросы в атмосферу при производстве калийных удобрений (молотый сильвинит, хлористый калий, сульфат калия) происходят во время циклов: дробление, просеивание, транспортирование, сушка, прессование, хранение и погрузка. Улавливание при дроблении, просеивании и транспортировании обычно не производится. Неорганическая пыль (2909) содержит хлориды, сульфаты калия, натрия, магния, кальция, оксиды кремния, железа, высших ароматических аминов и т. д. Главным источником выбросов являются сушилки. Пыль барабанных сушилок имеет размер от 1,6 до 40 мкм, средний медианный диаметр составляет 18,5 мкм, температура газов — около 200 °С, запыленность — до 140 г/м^3.

Сложные удобрения (аммофос, селитра калийная, нитрофоска). При производстве нитрофоски в результате взаимодействия фосфатов с азотной и серной кислотами в реакторном отделении выделяются газы, содержащие фтористый водород. Кроме того, вследствие повышенной температуры возможно выделение паров серной кислоты (322), фосфорной кислоты (348) и азотной кислоты (302), а также оксидов азота (301, 304) и аммиака (303). В газовую среду выделяется до 20 % фтора от общего содержания его в аппарате.

Производство аммофоса. В качестве сырья для его получения применяют жидкий аммиак и экстракционную фосфорную кислоту, получаемую разложением апатитового концентрата серной кислотой. При получении этой кислоты выделяются фтористый водород (апатитовый концентрат содержит фтор) (342), пары серной кислоты (322) и фосфорной кислоты (348), пыль апатитового концентрата (2866).

2.2.3.2 Производства органической химии

Производство технического углерода. Технологические газы, образующиеся при производстве технического углерода, являются носителем готового продукта, извлекаемого из них в виде сажи (328). Взвешенные вещества (8) этих газов являются высокодисперсными (средний размер частиц пыли равен 0,1 мкм или меньше). Газы имеют высокую температуру, влажность и агрессивность с высокой электропроводностью, возможностью возгорания и взрывоопасностью сажегазовой смеси.

Производство каучуков. Отходящие газы производства каучуков содержат в небольших количествах органические вещества и оксид углерода (337).

Производство синтетических моющих средств. Основное количество синтетических моющих средств получают методом распылительной сушки. При этом образуются отработанный теплоноситель, воздух из эрлифта, воздух из аспирационных систем, отсасываемый от узлов пыления при транспортировании и переработке исходных

материалов и готового продукта. Количество газов из сушилки составляет около 12 тыс. м^3/ч. Газы имеют температуру 100 °С — 120 °С, частицы (в основном от 50 до 600 мкм) обладают повышенной слипаемостью, содержание пыли (2975) достигает 15 г/м^3. Воздух из эрлифта содержит 2–25 г/м^3 пыли (2975) размером 30–70 мкм. Воздух из аспирационных систем содержит 0,2–20 г/м^3 пыли (2950, 2951, 2975) размером 20–40 мкм.

Производство лакокрасочных материалов и их компонентов (пигментов, наполнителей, пленкообразующих, растворителей, пластификаторов, отвердителей и т. д.) сопровождается образованием значительного количества газовых выбросов. Наибольшую долю (по массе) в структуре загрязняющих веществ составляют органические растворители, пыль пигментов, водорастворимые сульфаты.

2.2.4 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях черной металлургии

Предприятия черной металлургии включают в себя доменное, сталеплавильное, прокатное производство, агломерационные фабрики, коксохимические заводы и др.

Предприятия черной металлургии выбрасывают газы, содержащие неорганическую пыль (2909), диоксид серы (330) и металлы. Например, на 1 т передельного чугуна выбрасывается 4,5 кг неорганической пыли (2909), 2,7 кг диоксида серы (330), 0,1–0,5 кг марганца (197), а также соединения мышьяка (325), фосфора (339), сурьмы (290), свинца (184), редких металлов и смолистых веществ (3748). Агломерационные фабрики выбрасывают пыль и диоксид серы (330) — 190 кг диоксида серы (330) на 1 т руды. Мартеновские и конверторные цеха выделяют большие массы пыли. На 1 т мартеновской стали выделяется 3000–4000 м^3 газов с концентрацией неорганической пыли (2909) в среднем 0,5 м^3, 60 кг углерода оксида (337) и 3 кг диоксида серы (330). Коксохимические цехи выбрасывают в атмосферу следующие основные вредные (загрязняющие) вещества: сажа (328), неорганическая пыль (2909), диоксид серы (330), оксиды азота (301, 304), оксид углерода (337), аммиак (303), фенол (1071), сероводород (333), гидроцианид (317), бензол (602), нафталин (708).

На агломерационных установках выбросы из агломерационной ленты содержат в основном неорганическую пыль (2909), тяжелые металлы, диоксид серы (330), хлориды, фториды, полициклические ароматические водороды и хлорорганические соединения, в том числе диоксины (3620).

На установках гранулирования выбросы содержат твердые частицы, оксиды азота (301, 304), диоксид серы (330), хлориды, фториды.

В коксохимическом производстве источниками технологических выбросов являются аспирационные системы цеха углеподготовки, отопительная система коксовых печей, системы загрузки угля и выдачи кокса, системы тушения кокса, коксовые рампы, коксосортировка, а также химические цеха, выбросы которых являются сравнительно небольшими по количеству, но разнообразными по составу. В цехах углеподготовки пыль выделяется при приемке на склад угля, его перегрузках, пересылках и транспортировании, в процессе подготовки шихты для коксования, а также в дробильных и помольных установках. Крупным источником пылегазовых выбросов является загрузка коксовых печей угольной шихтой: при заполнении холодной шихтой раскаленного пространства печи происходят значительные выделения пыли и газов, которые характеризуются следующими данными, г/т кокса: пыль (2909) — 400, CO (337) — 46, H_2S (333) — 22, NH_3 (303) — 47, SO_2 (330) — 33, NO_x (301, 304) — 55, C_mH_n (415, 416) — 190, HCN (317) — 0,6. При выгрузке раскаленного кокса в вагон выбросы характеризуются следующими данными, г/т кокса: пыль (2909) — 750, H_2S (333) — 8, NH_3 (303) — 51, SO_2 (330) — 22, NO_x (301, 304) — 4, C_mH_n (415, 416) — 36, HCN (317) — 0,1. На коксогазовых установках основные выбросы вредных (загрязняющих) веществ являются неорганизованными. В коксовом газе обычно содержатся значительные количества серы, главным образом в виде дигидросульфида (333), поэтому его подвергают десульфуризации перед использованием в качестве топлива. Основным источником атмосферных выбросов является отработанный газ систем недожигания топлива.

В выбросах доменных печей содержатся значительные количества твердых частиц, поэтому перед применением доменного газа его подвергают обеспыливанию.

При производстве и литье стали в конвертерах выбросы содержат значительные количества неорганической пыли (2909), поэтому осуществляют улавливание твердых частиц в результате предварительной обработки расплавленного металла (включая процессы переноса, десульфуризации и скачивания шлака расплавленного металла).

Атмосферные выбросы из печей электросталеплавильного и сталелитейного производства содержат разнообразные неорганические соединения (пыль дижелеза триоксида (123) и тяжелые металлы) и органические соединения, наиболее важными из которых являются хлорорганические соединения, хлорбензолы (915, 852), диоксины (3620).

2.2.5 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях цветной металлургии

При производстве меди выбросы в атмосферу содержат неорганическую пыль (2909), оксиды металлов, мышьяк (325), диоксид серы (330), оксиды азота (301, 304), кислые газы.

При производстве алюминия выбросы в атмосферу содержат неорганическую пыль (2909), твердые фториды, фтористый водород (342), оксид углерода, ПАУ (включая бенз(а)пирен).

При производстве свинца, цинка и кадмия выбросы в атмосферу содержат неорганическую пыль (2909), соединения металлов, диоксид серы (330), другие кислые газы.

При производстве никеля и кобальта выбросы в атмосферу содержат неорганическую пыль (2909), оксиды металлов, мышьяк (325), диоксид серы (330), оксиды азота (301, 304), хлор (349), кислые газы.

При производстве драгоценных металлов выбросы в атмосферу содержат ЛОС, неорганическую пыль (2909), соединения металлов, оксиды азота (301, 304), другие кислые газы, такие как хлор (349) и диоксид серы (330).

При производстве ртути выбросы в атмосферу содержат пары ртути (183), неорганическую пыль (2909), соединения металлов, газы с неприятным запахом, диоксид серы (330), другие кислые газы.

При производстве тугоплавких металлов, твердосплавного порошка и карбидов металлов выбросы в атмосферу содержат неорганическую пыль (2909), соединения металлов.

При производстве ферросплавов выбросы в атмосферу содержат неорганическую пыль (2909), соединения металлов, оксид углерода (337), диоксид углерода (380), диоксид серы (330).

При производстве щелочей и щелочноземельных металлов выбросы в атмосферу содержат хлор (349), гидрохлорид (316), диоксины (3620), SF_6 (342), неорганическую пыль (2909), соединения металлов, диоксид углерода (380), диоксид серы (330).

При производстве углерода и графита выбросы в атмосферу содержат бенз(а)пирен (703), неорганическую пыль (2909), диоксид серы (330).

2.2.6 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности

В состав выбросов предприятий по производству крафт-целлюлозы (сульфатной целлюлозы) входят главным образом оксиды азота (301, 304), серосодержащие соединения, такие как сернистый газ, и восстановленные сернистые соединения с неприятными запахами. Помимо этого, осуществляются выбросы твердых частиц.

На предприятиях по производству сульфитной целлюлозы выбросы в атмосферу содержат диоксид серы (330), газы с неприятным запахом, оксиды азота (301, 304).

При механическом и химико-механическом производстве целлюлозы выбросы в атмосферу представляют собой главным образом выбросы, получаемые в результате выработки тепла и электроэнергии во вспомогательных котельных установках, а также ЛОС.

При переработке вторичного волокна выбросы в атмосферу главным образом связаны с производством электроэнергии путем сжигания ископаемого топлива на силовых установках.

При производстве бумаги и смежных процессах выбросы в атмосферу, осуществляемые при работе неинтегрированных бумажных предприятий, по большей части связаны с паровыми котлами и силовыми установками.

2.2.7 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях пищевой промышленности

Наиболее вредными (загрязняющими) веществами, поступающими в атмосферу, являются диоксид углерода (380), оксид углерода (337), органическая пыль, бензин (2704) и различные углеводороды (415, 416), выбросы от сжигания топлива.

Удельные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности составляют в зерноперерабатывающей отрасли 120–150 кг/т зерна, в спиртовой — более 600 кг/1000 дал спирта, в молочной — 1,2 кг/т молока и т. д.

Наиболее распространенным выбросом в атмосферу на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности является пыль сухих продуктов. Так, в зерноперерабатывающей отрасли эти выбросы ежегодно составляют более 17 тыс. т, в сахарной — более 28 тыс. т, в молочной — 1,2 тыс. т и т. д.

В процессе молочного производства основными источниками загрязнения атмосферы являются:

- производство сухого цельного и обезжиренного молока (сушильные установки, огневые калориферы);
- производство казеина (дробилки, казеиносушилки);
- производство мороженого (печи для выпечки вафель);
- сыродельный цех (парафинеры, коптилки колбасного сыра);
- жестянобаночный цех (лакировка, лужение, пайка);
- паросиловое оборудование (котельная);
- использование автотранспортных средств.

Одним из видов выбросов в атмосферу является также ее тепловое загрязнение.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от предприятий хлебопекарной промышленности содержат преимущественно твердые вещества.

На спиртовых заводах газовые выбросы котельных содержат частички углерода (сажи) (328), оксид углерода (337), диоксиды серы (330) и диоксид азота (301). Кроме того, в дымовых газах содержится незначительное количество продуктов неполного сгорания топлива в виде оксида углерода (337), водорода, метана (410), а также водяные пары. Если в качестве сырья используется зерно, то при его разгрузке и транспортировании выделяется значительное количество зерновой пыли (2937).

На заводах с цехами кормовых дрожжей имеют место значительные выбросы микроорганизмов из дрожжерастительных аппаратов и особенно из распылительных сушильных установок.

На чаеразвесочных фабриках образуется значительное количество чайной пыли (3713), способной образовывать взрывоопасную смесь с воздухом. Выбор пылеочистных устройств, пригодных по своим показателям для эффективного улавливания чайной пыли (3713), ограничен из-за ее свойств: взрывоопасность, гидрофильность, наличие тонких фракций. В качестве единственной или последней ступени очистки для тех случаев, когда целесообразно сохранить чайную пыль (3713), наиболее приемлемо использовать рукавные фильтры, обеспечивающие высокую степень очистки в области тонких фракций.

2.2.8 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях сельского хозяйства

Наиболее вредными веществами, поступающими в атмосферу в результате производственной деятельности предприятий сельского хозяйства, являются аммиак

(303), пыль (биоаэрозоли) (2902), оксиды азота (301, 304), парниковые газы (метан, оксид азота, диоксид углерода (380)).

Аммиак (303) образуется на птицеводческих и животноводческих комплексах при содержании животных, в процессе обработки навоза и птичьего помета, при разбрасывании навоза на полях. Выбросы аммиака (303) происходят на всех этапах обращения с навозом. Наличие аммонийного азота в экскрементах домашнего скота является основным источником аммиака (303).

Неприятные запахи (дурнопахнущие вещества) образуются на птицеводческих и животноводческих комплексах при содержании животных, в процессе обработки и хранения навоза и птичьего помета, при разбрасывании навоза на полях.

Пыль (2911) образуется на птицеводческих и животноводческих комплексах при содержании животных, измельчении кормов, хранении навоза и твердых кормов, эксплуатации обогревательных установок.

Оксиды азота (301, 304) образуются на птицеводческих и животноводческих комплексах при содержании животных, хранении навоза и разбрасывании его на полях, эксплуатации обогревательных установок.

Метан (410) образуется на птицеводческих и животноводческих комплексах при содержании животных, хранении и обработке навоза.

Оксид азота образуется на птицеводческих и животноводческих комплексах при содержании животных, хранении и обработке навоза, разбрасывании навоза на полях.

Диоксид углерода (380) поступает в выбросы птицеводческих и животноводческих комплексов при содержании животных, эксплуатации обогревательных установок, а также в случае образования биогенного диоксида углерода (380), который может быть выброшен в поле.

Наиболее опасными парниковыми газами, образующимися при эксплуатации птицеводческих и животноводческих комплексов, являются метан (410) и оксид азота.

2.2.9 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях легкой промышленности

Для кожевенного производства характерны выбросы, содержащие пыль синтетической кожи (3710), оксиды азота (301, 304), диоксид серы (330), органические красители (3004, 3058).

Выбросы в атмосферу могут быть токсичными и (или) содержать дурнопахнущие вещества, например сульфиды, а также аммиак (303), органические растворители, ЛОС, твердые частицы и обычные газовые выбросы, образующиеся на установках при

сжигании топлива. При сжигании отходов кожевенного производства образуются токсичные выбросы, включая хром (VI), ПХДД/Ф из галогенированных органических соединений, ПАУ.

2.2.10 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях стекольной и керамической промышленности

Производство стекла осуществляется при высокой температуре и требует значительного количества энергии, что приводит к образованию продуктов сжигания топлива, поступающих в атмосферный воздух. Выбросы отходящих газов от процесса стекловарения содержат также твердые частицы (пыль), состав которых зависит от состава стекла. Для производства стекла характерны выбросы оксидов азота (301, 304), неорганической пыли (2909), диоксида серы (330), оксидов углерода (337).

На неорганическую пыль (2909) приходится значительная часть загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу стекольными заводами. Во всех подотраслях стекольной промышленности используются измельченные, гранулированные или порошкообразные сырьевые материалы. На всех предприятиях осуществляется хранение и смешивание сырьевых материалов. Выброс в атмосферу пыли (2909) является предсказуемым результатом операций по транспортированию, обработке, хранению и смешиванию компонентов сырья. Пыль, образующаяся при этих операциях, более крупная, чем твердые частицы, образующиеся в процессе стекловарения и имеющие размер менее 1 мкм.

Основными причинами выбросов оксидов азота (301, 304) являются их образование из азота воздуха при сжигании топлива, распад азотных соединений в шихте и окисление азота, содержащегося в топливе.

Присутствие оксидов серы (330) в отходящих газах стекловаренных печей определяется содержанием соединений серы в топливе (для природного газа обычно небольшим) и в сырьевых материалах.

Выброс металлов в окружающую среду — специфическая черта для некоторых подотраслей (например, производства свинцового хрусталя и фритт). Незначительное количество тяжелых металлов может присутствовать в качестве примесей в некоторых сырьевых материалах и стеклобое.

При производстве изделий из цветного стекла в атмосферный воздух в незначительных количествах могут поступать соединения (преимущественно оксиды) металлов, используемых для придания изделиям окраски (кобальта, меди, хрома, марганца и пр.).

Если в процессе сжигания используется мазутный или нефтяной кокс, в выбросах также могут присутствовать никель и ванадий.

При производстве керамических изделий характер и уровень выбросов зависят от различных факторов, в частности от вида используемого сырья, вспомогательных веществ, топлива, а также от способа производства.

При производстве керамики могут выделяться неорганическая пыль (2902), углерод (сажа) (328), газообразные вещества (оксиды углерода (337), оксиды азота (301, 304), диоксид серы (330)), неорганические соединения фтора (343, 344) и хлора, органические соединения, тяжелые металлы.

Газообразные соединения в основном выделяются из сырьевых материалов при сушке и обжиге; при сжигании различных видов топлива также образуются выбросы вредных (загрязняющих) веществ, в том числе оксиды серы (330), оксиды азота (301, 304), фтороводородная кислота (342), гидрохлорид (316), ЛОС и тяжелые металлы.

2.2.11 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при обращении с отходами

Состав выбросов на предприятиях по обращению с отходами производства и потребления зависит от:

- вида деятельности по обращению с отходами;
- специфики отходов.

При обращении с твердыми коммунальными отходами в атмосферу выбрасываются метан (410), сероводород (333), диоксид углерода (380), оксид углерода (337), аммиак (303) и прочие вредные (загрязняющие) вещества, сопутствующие процессам аэробной и анаэробной деструкции компонентов отходов.

При обращении с нефтесодержащими отходами в атмосферный воздух поступают смеси углеводородов С1 — С5 (415), С6 — С10 (416), бензол (602), метилбензол (621), сероводород (333).

При обращении с другими видами отходов в атмосферу выбрасываются специфические загрязняющие вещества и неорганическая пыль (2909).

При термическом обезвреживании отходов в атмосферу выбрасываются оксиды азота (301, 304), диоксид серы (330), оксид углерода (337), предельные углеводороды (415, 416, 2754), углерод (сажа) (328), взвешенные вещества (2902), бенз(а)пирен (703), гидрохлорид (316), фтористый водород (342), диоксины (в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин) (3620), хлорид ртути (181), оксид кадмия (133), карбонат таллия (191).

При биологической и физико-химической обработке отходов выделяются углеводороды предельные (по метану) (415), оксид углерода (337), диоксид углерода (380), дигидросульфид (333), аммиак (303), загрязняющие вещества, содержащие микроорганизмы (2603), и др.

Твердые частицы (включая металлы) поступают в выбросы, образующиеся при хранении, транспортировании и термической обработке отходов, а также на энергетических системах.

2.2.12 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях цементной промышленности

Выбросы в атмосферу содержат оксиды азота (301, 304) и другие соединения азота; диоксид серы (330) и другие соединения серы; пыль (2909); органические соединения, включая ЛОС; диоксины (3620); металлы и их соединения; гидрофторид(342); гидрохлорид (316); оксид углерода (337); диоксид углерода (380). Кроме того, значительными могут быть выбросы аммиака (303), особенно при использовании технических решений для снижения уровня выбросов оксидов азота (301, 304), например методом неселективного каталитического восстановления.

Типичные объемы печных отходящих газов, выражаемые в $м^3$/т клинкера (сухой газ с температурой 273 K и давлением 101,3 кПа), колеблются в пределах 1700–2500 для различных печей. Объем отходящих газов из печей с циклонным теплообменником и декарбонизатором обычно составляет около 2300 $м^3$/т клинкера (сухой газ с температурой 273 K и давлением 101,3 кПа).

Выбросы пыли (2909) также образуются из других источников, таких как пыль при помоле и при разгрузке сырьевых материалов, твердого топлива и конечного продукта (цемента). Потенциально выбросы пыли (2909) возможны из любых точек складирования сырьевых материалов и твердого топлива, их транспортирования, включая погрузку цемента. Колебания величин этих выбросов могут быть значительными.

Также следует отметить, что ртуть и ее соединения не осаждаются в печной системе и (или) теплообменнике и попадают в отходящие газы, конденсируются при их охлаждении и частично адсорбируются частицами сырьевых материалов в зависимости от температуры газа. Эта доля удаляется из системы при очистке отходящих газов от пыли (2909).

2.2.13 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях известковой промышленности

Наиболее существенными выбросами при производстве извести являются оксид углерода (337); оксиды азота (301, 304); диоксид серы (330); пыль (2909). К прочим выбросам относят гидрохлорид (316); гидрофторид (342); органические соединения; тяжелые металлы; диоксины (3620); сероводород (333).

На состав и концентрацию выбросов оказывают влияние тип печи и ее конструкция; характер процесса и его параметры; химический состав и качество сырьевого известняка; вид используемого топлива; эффективность оборудования для снижения выбросов. Так, выбросы аэрозолей во вращающейся печи значительно выше, чем в шахтных печах, но вращающиеся печи позволяют поддерживать большую производительность.

После гашения извести источниками выбросов являются системы транспортирования и упаковки. Интенсивность пыления очень мала (2,5 г/кг извести).

2.2.14 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях по производству оксида магния (сухой способ)

При сухом способе производства оксида магния/магнезии образующиеся выбросы содержат пыль (2909, 2940), оксиды азота (301, 304), диоксид серы (330) и оксид углерода (337). Они частично поступают из магнезита, а частично — из используемого топлива.

Из-за высокой температуры обжига в печи диоксид серы (330) из топлива не связывается продукцией. Однако в том случае, если в печи для обжига используют меньшую температуру, диоксид серы (330) только частично поглощается продуктом обжига и связывается образующейся при обжиге пылью. Выбросы диоксида серы (330) из сырья (магнезита) связаны с наличием в нем серы. В отдельных случаях выбросы диоксида серы (330) из сырьевых материалов могут составлять до 50 % суммарных выбросов диоксида серы (330).

Выбросы в воздух происходят не только в процессе горения топлива, но и на других этапах производственного процесса: при хранении и транспортировании сырья, топлива или готовой продукции, при дроблении/измельчении.

2.2.15 Выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях машиностроительного комплекса

На машиностроительных предприятиях основными источниками загрязнения атмосферы являются следующие виды производств: сварка и тепловая резка металлов; литейное производство; механическая обработка металлов; нанесение лакокрасочных покрытий; гальванические цеха.

В процессе выполнения сварочных работ и тепловой резки металлов в воздух выделяется сварочный аэрозоль, в состав которого (в зависимости от вида сварки, марок электродов и флюса) входят в виде твердых частиц оксиды металлов (железа, хрома, марганца, ванадия, алюминия, цинка, меди и др.), а также газообразные соединения (фтористый водород (342), оксиды азота (301, 304), оксид углерода (337), озон (326)). Этот аэрозоль характеризуется мелкой дисперсностью: скорость витания частиц не превышает 0,1 м/с.

При использовании формовочных смесей холодного твердения, содержащих фенолформальдегидную смолу, в выбросы поступают оксид углерода (337), бензол (602), фенол (1071), формальдегид (1325), метанол (1052). Из карбамидной смолы выделяются формальдегид (1325), оксид углерода (337), метан (410), бензилцианид (2003), аммиак (303).

Механическая обработка металлов (абразивная обработка и резание) сопровождается поступлением в выбросы пыли, стружки, туманов масел и эмульсий.

В воздухе, удаляемом из гальванических цехов, вредные вещества находятся в виде пыли, тонкодисперсного тумана, паров и газов. Наиболее интенсивно вредные вещества выделяются в процессах кислотного и щелочного травления. При нанесении гальванических покрытий (воронение, фосфатирование, анодирование и т. п.) образуются различные вредные вещества. Так, при фосфатировании изделий выделяются гидрофторид (342), гидрохлорид (316), серная кислота (322), гидроцианид (317), трехвалентные соединения хрома (228), диоксид азота (301), гидроксид натрия (150) и др. При проведении подготовительных операций в гальванических цехах (механическая очистка и обезжиривание поверхностей) выделяются взвешенные вещества (2902), пары бензина (2704), керосина (2732), трихлорэтилена (902), туманы щелочей.

В лакокрасочных цехах вредные вещества, содержащиеся в растворителях, выделяются как в период нанесения покрытий на изделия, так и при высыхании.

2.3 Описание применяемых технологических подходов, методов, мер и мероприятий, направленных на очистку выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух

В зависимости от характера вредных (загрязняющих) веществ, выбрасываемых в атмосферу, методы очистки отходящих газов подразделяют на две большие группы:

- очистка от аэрозолей (пылей и туманов);
- очистка от газообразных и парообразных примесей.

Очистка отходящих газов от аэрозолей (туманов) осуществляется с применением следующих методов:

- регенеративные (адсорбционные, электрические);
- деструктивные (каталитический дожиг, термическая нейтрализация).

Устройства для очистки газов от пылей подразделяют на пылеуловители и воздушные фильтры.

Обезвреживание отходящих газов от газообразных и парообразных токсичных веществ осуществляют с применением:

- физико-химических методов: абсорбции (физической и хемосорбции), адсорбции, термической нейтрализации, каталитической нейтрализации;
- биохимических методов.

Обычно применяют комбинацию разных методов (многоступенчатые схемы очистки).

Выбор метода очистки зависит от следующих факторов:

- исходная концентрация вредных (загрязняющих) компонентов и требуемая степень очистки отходящих газов;
- объемы очищаемых газов и их температура;
- наличие сопутствующих газообразных примесей и пыли;
- потребность во вспомогательных материалах;
- размеры площадей для сооружения газоочистной установки;
- простота эксплуатации и технического обслуживания;
- климатические и природные ограничения и т. п.

2.3.1 Очистка отходящих газов от аэрозолей (пылей и туманов) в фильтрах

В основе работы фильтров всех видов лежит процесс фильтрации газа через пористую перегородку. При этом твердые частицы задерживаются на перегородке, а газ полностью проходит сквозь нее.

На эффективность процесса фильтрации (особенно для частиц размером менее 1 мкм) значительно влияет электрическая заряженность частиц: наличие разноименных зарядов на частицах повышает эффективность фильтрации. Этот эффект слабее при повышенном влагосодержании (до 70 %) и высоких скоростях газопылевого потока (до 6 м/мин).

Частицы, осажденные в объеме фильтрующего материала или накопленные на его поверхности, служат для вновь поступающих частиц составным элементом фильтрующей среды, который повышает степень очистки. Однако по мере накопления частиц газопроницаемость фильтрующего материала снижается, поэтому необходима замена фильтрующего материала и его периодическая регенерация. В случае улавливания жидких частиц накапливающаяся жидкость удаляется из пористой перегородки самопроизвольно.

Фильтрующие перегородки, преимущественно состоящие из волокнистых или зернистых элементов, можно условно разделить на следующие группы:

- гибкие пористые перегородки;

- тканевые материалы из природных синтетических или минеральных волокон;

- нетканые волокнистые материалы (войлоки, клееные и иглопробивные материалы, бумага, картон, волокнистые маты);

- ячеистые листы (губчатая резина, пенополиуретан, мембранные фильтры);

- полужесткие пористые перегородки: слои волокон, стружка, вязаные сетки, расположенные на опорных устройствах или зажатые между ними;

- жесткие пористые перегородки: зернистые материалы (пористая керамика или пластмасса, спеченные или спрессованные порошки металлов, пористые стекла, углеграфитовые материалы и др.);

- волокнистые материалы (сформированные слои из стеклянных и металлических волокон);

- металлические сетки и перфорированные листы;

- зернистые слои: свободно насыпанные материалы (периодически или непрерывно перемещающиеся материалы).

Фильтры условно разделяют на три группы в зависимости от назначения, а также величины входной и выходной концентрации:

- фильтры тонкой очистки (высокоэффективные или абсолютные фильтры), которые предназначены для улавливания из отходящих газов преимущественно субмикронных частиц с низкой входной концентрацией (<1 мг/м^3) и скоростью фильтрования <10 см/с. Эти фильтры используют для улавливания токсичных частиц и ультратонкой

очистки воздуха при проведении некоторых технологических процессов. Фильтры тонкой очистки не подлежат регенерации. Степень улавливания — более 99 %;

- воздушные фильтры, которые используют в системах приточной вентиляции и кондиционирования воздуха. Эти фильтры эксплуатируются при концентрации пыли менее 50 мг/м^3 при высокой скорости фильтрации — до 2,5–3 м/с. Фильтры могут быть нерегенерируемые и регенерируемые;

- промышленные фильтры (тканевые, зернистые, грубоволокнистые), которые применяются для очистки промышленных газов концентрацией до 60 г/м^3. Фильтры подлежат регенерации.

2.3.1.1 Тканевые фильтры

В тканевом фильтре отходящий газ пропускают через плотную ткань, войлок и др.; при этом твердые частицы собираются на ткани. Тканевые фильтры изготавливают в виде листов, картриджей или рукавов (наиболее распространенный тип).

На практике применение тканевых фильтров связано с использованием больших площадей фильтрации, что объясняется необходимостью предотвращения недопустимого падения давления на фильтре, которое может привести к выходу из строя корпуса фильтра и, соответственно, неорганизованному выбросу пыли.

Тканевые фильтры можно сгруппировать, используя такие признаки, как:

- форма фильтровальных элементов (рукавные, плоские, клиновые и др.) и наличие в них опорных устройств (каркасные, рамные);

- место расположения вентилятора относительно фильтра (нагнетательные, работающие под давлением, и всасывающие, работающие под разрежением);

- способ регенерации ткани (встряхиваемые, с обратной продувкой, с вибрационным встряхиванием, с импульсной продувкой и др.);

- наличие и форма корпуса для размещения ткани (прямоугольные цилиндрические, открытые или бескамерные);

- число секций в установке (однокамерные и многосекционные);

- вид используемой ткани (стеклотканевые и др.).

Способы регенерации тканевых фильтров подразделяют на механические (обычно встряхивание, иногда кручение) и пневматические (различные виды обратной продувки: непрерывная, пульсирующая, импульсная, струйная).

В настоящее время в промышленности наиболее распространены следующие типы тканевых фильтров:

1) тканевый фильтр с регенерацией механическим встряхиванием, при котором отходящий газ поступает во впускную трубу, снабженную дефлектором, где большие частицы удаляются, попадая на отбойник и падая в бункер. Газ с твердыми частицами втягивается через ячеистую пластинку и проходит от внутренней части к внешней, при этом твердые частицы собираются на внутренней стороне рукава. Верх рукава прикреплен к перекладине вибратора, который быстро двигается, обеспечивая регенерацию рукавов;

2) тканевый фильтр с очисткой обратным потоком, в котором используется более щадящий (но нередко менее эффективный механизм) регенерации ткани по сравнению с механическим встряхиванием. Обычно рукава открыты снизу и закрыты сверху; пыль улавливается на внутренней или внешней стороне рукава. Такой фильтр часто используется в сочетании со встряхиванием, импульсной или ультразвуковой очисткой;

3) тканевый фильтр с импульсно-струйной регенерацией можно использовать при высоких пылевых нагрузках; он работает при постоянном перепаде давления, занимая при этом меньше места по сравнению с другими типами тканевых фильтров. Рукава закрыты снизу и открыты сверху, поддерживаясь внутренними фиксаторами. Газ с твердыми частицами двигается снаружи к внутренней части рукава, а диффузоры используются для предотвращения повреждения рукава негабаритными частицами; частицы собираются на внешней стороне рукава и падают в бункер. Такие фильтры могут эксплуатироваться только в качестве внешнего устройства для сбора пыли. Импульсно-струйная регенерация представляет собой нагнетание воздуха в рукава короткими импульсами (0,03–0,1 с) под высоким давлением (0,4–0,8 МПа). Этот способ предусматривает, что поток отходящих газов не останавливается во время регенерации. В тканевых фильтрах с импульсно-струйной регенерацией используют войлочные (нетканые) материалы, потому что для достижения высокой степени улавливания пыли не требуется образование фильтр-прессной лепешки.

Большинство тканевых фильтров изготавливаются малыми сериями или индивидуально для предприятия-заказчика, так как их разрабатывают с учетом специфических физико-химических свойств пылегазовых потоков, образующихся на предприятиях различных отраслей промышленности.

К основным требованиям, предъявляемым к фильтровальным материалам, относятся:

- высокая пылеемкость при фильтрации и способность удерживать после регенерации такое количество пыли, которое является достаточным для обеспечения высокой степени очистки газов от тонкодисперсных твердых частиц;

- способность к сохранению оптимально высокой воздухопроницаемости в равновесно запыленном состоянии;

- высокая механическая прочность и стойкость к истиранию при многократных изгибах;

- стабильность размеров и свойств при повышенной температуре и агрессивном воздействии химических примесей, находящихся в сухих и насыщенных влагой газах;

- способность к легкому удалению накопленной пыли;

- низкая стоимость.

Для тканевых фильтров используют материалы, изготовленные из:

- натуральных волокон растительного и животного происхождения (шерстяные, льняные, хлопчатобумажные, лыковые ткани) и природных минеральных волокон (асбест);

- искусственных неорганических волокон (стеклоткань, металлоткань и др.) и органических волокон (лавсан, нитрон, капрон, хлорин, оксалон и др.).

Следует отметить, что синтетические ткани имеют более высокую прочность и стойкость к повышенным температурам и агрессивным воздействиям, более низкую стоимость по сравнению с материалами из естественных волокон животного и растительного происхождения. Например, на предприятиях химической промышленности и цветной металлургии широко используют при температуре 120 °С — 130 °С нитроновые ткани; лавсановые ткани применяют для очистки горячих сухих газов на предприятиях цементной, металлургической и химической промышленности.

Тканевые фильтры в основном используют для удаления твердых частиц размером до 2,5 мкм и опасных веществ в виде твердых частиц, например, металлов, за исключением ртути. Их также можно эффективно использовать для удаления конкретных газообразных загрязняющих веществ, если сочетать их с системами, расположенными после пылеуловительной камеры с рукавными фильтрами и связанными с внесением дополнительных материалов, в том числе с адсорбцией и сухим вдуванием извести/бикарбоната натрия.

Если в очищаемых газах содержатся относительно крупные частицы, то для снижения нагрузки на ткань фильтра (особенно при высоких концентрациях во входном

потоке) перед тканевым фильтром устанавливают механические уловители (центробежные сепараторы, электростатические пылеуловители) и форсуночные охладители.

Следует отметить, что электризация материала (например, полиэстера) рукавов заряженной пылью препятствует проникновению пыли в толщину ткани материала рукавов, что, в свою очередь, улучшает отряхиваемость, снижает гидравлическое сопротивление и увеличивает срок жизни рукавов.

К основным достоинствам тканевых фильтров относят:

- эффективное пылеулавливание при относительно умеренных капитальных и эксплуатационных затратах;

- отсутствие зависимости остаточных выбросов от концентрации пыли на входе;

- относительно простую эксплуатацию;

- надежность.

К основным недостаткам тканевых фильтров относят:

- непригодность для обработки влажных или липких пылей из-за риска засорения фильтра;

- относительно большие габаритные размеры.

2.3.1.2 Волокнистые фильтры

В волокнистых фильтрах фильтрующий элемент состоит из одного или нескольких слоев, в которых однородно распределены волокна. Такие фильтры оказывают объемное действие, поскольку рассчитаны на улавливание и накапливание частиц преимущественно по всей глубине слоя; только на поверхности наиболее плотных материалов образуется сплошной слой пыли. Фильтрующие элементы изготавливают из натуральных или искусственных волокон толщиной от 0,01 до 100 мкм; при этом толщина фильтрующих сред составляет от десятых долей миллиметра (бумага) до 2 м (многослойные глубокие насадочные фильтры долговременного использования). Волокнистые фильтры используют при концентрации дисперсной твердой фазы, равной 0,5–5 мг/м^3, и только некоторые грубоволокнистые фильтры применяют при концентрации, равной 5–50 мг/м^3 (при таких концентрациях основная доля частиц имеет размеры менее 5–10 мкм).

Волокнистые фильтры подразделяют на сухие (тонковолокнистые, электростатические, глубокие, фильтры предварительной очистки или так называемые предфильтры) и мокрые (сеточные, самоочищающиеся, с периодическим или непрерывным орошением).

С помощью волокнистых фильтров большие объемы газов можно очищать от твердых частиц всех размеров (включая субмикронные), а также использовать для очистки радиоактивных аэрозолей. Для 99%-ной очистки частиц размером 0,05–0,5 мкм применяют материалы из тонких или ультратонких волокон (диаметр — менее 2 мкм), скомпонованные в виде тонких листов или объемных слоев. При этом скорость фильтрации достигает 0,01–0,15 м/с, а сопротивление чистых фильтров не превышает 200–300 Па (забитых пылью фильтров — 700–1500 Па).

Регенерация волокнистых фильтров, рассчитанных на длительный срок эксплуатации (до 3 лет), является либо невозможной, либо экономически нецелесообразной. Если концентрация пыли на входе в фильтр превышает 0,5 мг/м^3, то срок службы фильтра значительно сокращается.

В промышленности широко используются фильтрующие материалы Петрянова, которые представляют собой слои синтетических волокон диаметром 1–2,5 мкм, нанесенные на марлевую подложку (основу) из скрепленных между собой более толстых волокон. В таблице 2 приведены технические характеристики основных фильтрующих материалов Петрянова.

Таблица 2 — Технические характеристики основных фильтрующих материалов Петрянова

Марка фильтрующего материала	Исходный полимер	Средний диаметр волокон, мкм	Поверхностная плотность, г/м^2	Эффективность фильтрации по частицам 0,34 мкм, %	Сопротивление потоку воздуха, Па
ФПП-15-1,5	Перхлорвинил	2	30 ± 5	99	15 ± 3
РФМ-1,7	Сополимер стирола	2	25 ± 5	99	12 ± 3
РФМ-3,0	Сополимер стирола	2	45 ± 5	99,99	35 ± 5

По оценкам экспертов, оптимальная конструкция волокнистых фильтров тонкой очистки отвечает следующим основным требованиям:

- наибольшая поверхность фильтрации при наименьших габаритах;
- минимальное сопротивление;
- возможность удобной и быстрой установки;
- надежная герметичность групповой сборки отдельных фильтров.

Этим требованиям соответствуют рамные фильтры. В таких фильтрах фильтрующий материал, изготовленный в виде ленты, укладывают между П-образными рамками, которые чередуются при сборке пакета открытыми и закрытыми сторонами в противоположных направлениях; при этом между соседними слоями материала устанавливают гофрированные разделители, чтобы предотвратить их примыкание друг к другу; рамки изготавливают из алюминия, нержавеющей стали, фанеры, винипласта и других материалов. Загрязненные газы поступают в одну из открытых сторон фильтра, проходят через материал и выходят с противоположной стороны.

В двухступенчатых или комбинированных фильтрах в одном корпусе размещают фильтры грубой очистки (например, из набивного слоя лавсановых волокон толщиной 100 мм) и фильтр тонкой очистки, изготовленный из материала фильтрующего материала Петрянова.

Для очистки вентиляционного воздуха и технологического газа от радиоактивных частиц используют глубокие (многослойные) фильтры, рассчитанные на эксплуатацию в течение 10–20 лет, после чего их подвергают захоронению с предварительным капсулированием.

В качестве фильтров-туманоуловителей широко используют волокнистые самоочищающиеся фильтры, оснащаемые слоями из стеклянных, синтетических и металлических волокон, а также пакетами вязаных металлических или синтетических сеток. Конструктивной особенностью этих фильтров является коалесценция уловленных жидких частиц при контакте с поверхностью волокон и образование на них пленки жидкости, которая удаляется по мере накопления (в слое) в виде струек или крупных капель, перемещающихся внутри слоя и с тыльной стороны под действием силы тяжести, а также увлечения газовым потоком или капиллярных сил. Обычно при этом не требуется применения механических воздействий на фильтрующие слои: фильтры работают с постоянным сопротивлением в стационарном режиме саморегенерации (самоочищения).

Волокнистые фильтры-туманоуловители разделяют на низкоскоростные, высокоскоростные и многоступенчатые. Низкоскоростные ($\omega < 0{,}2$ м/с) фильтры-туманоуловители с волокнами диаметром 5–20 мкм предназначены для улавливания субмикронных частиц. Высокоскоростные ($\omega > 0{,}5$–$1{,}2$ м/с) фильтры-туманоуловители со слоем грубых волокон диаметром от 0 до 100 мкм служат для выделения из газа частиц крупнее 1 мкм. Многоступенчатые фильтры-туманоуловители состоят из 2–3 низкоскоростных и высокоскоростных фильтров, в которых первая ступень работает при

скоростях выше критической и является укрупнителем улавливаемых капель при высоких исходных концентрациях тумана.

Основными достоинствами волокнистых фильтров-туманоуловителей являются:

- высокая степень очистки;

- надежность в эксплуатации;

- простота конструкций, монтажа и обслуживания;

- возможность обеспечения очистки до любой остаточной концентрации тонкодисперсных туманов, образующихся в технологических процессах получения серы и термической фосфорной кислоты, концентрирования различных кислот и солей упаркой, производства хлор-газа, испарения масел и других органических жидкостей.

Основным недостатком волокнистых фильтров-туманоуловителей является возможность зарастания, если в тумане имеется значительное количество твердых частиц и если в слое образуются нерастворимые отложения солей ($CaSO_4$, CaCO и др.), возникающие при взаимодействии солей жесткости воды с газами (CO_2, HF и др.).

2.3.1.3 Зернистые жесткие фильтры

Значительно реже, чем волокнистые фильтры, применяются зернистые жесткие фильтры, в которых зерна (пористая керамика, пористые металлы, пористые пластмассы), прочно связанные друг с другом в результате спекания, прессования или склеивания, образуют жесткую неподвижную систему.

Эти фильтры пригодны для регенерации, которую осуществляют:

- продуванием воздухом в обратном направлении;

- пропусканием жидких растворов в обратном направлении;

- пропусканием горячего пара;

- простукиванием или вибрацией трубной решетки с элементами.

Основными достоинствами зернистых жестких фильтров являются:

- доступность материала;

- возможность эксплуатации при высоких температурах и в условиях агрессивной среды;

- способность выдерживать большие механические нагрузки, перепады давлений, резкие изменения температуры.

Основными недостатками зернистых жестких фильтров являются высокая стоимость, большое гидравлическое сопротивление, а также сложность регенерации.

2.3.1.4 Зернистые насадочные (насыпные) фильтры

Зернистые насадочные фильтры подразделяют на:

- статические (неподвижные) слоевые фильтры;

- динамические (подвижные) слоевые фильтры с гравитационным перемещением сыпучей среды;

- фильтры с псевдоожиженными слоями.

В зернистых насадочных фильтрах улавливающие элементы (гранулы, куски и т. д.) не связаны друг с другом; в качестве насадки используют песок, гальку, шлак, дробленые горные породы, древесные опилки, кокс, резиновую крошку, графит и др. Выбор материала зависит от требуемой термической и химической стойкости, механической прочности и доступности.

Эффективность улавливания пыли возрастает по мере ее накопления в порах насадки. При увеличении сопротивления до предела производят рыхление слоя; после нескольких циклов рыхления насадку промывают или заменяют.

Конструктивной особенностью зернистых фильтров, регенерируемых продвижением слоя, является непрерывное движение рыхлого слоя, который вместе с уловленной пылью проходит через вибрирующий экран; для непрерывного возобновления движущегося слоя необходимо использование громоздкой дорогостоящей системы циркуляции гранул.

Имеются зернистые фильтры, регенерируемые путем воронения или вибрационной встряски зернистого слоя внутри аппарата, а также фильтры с движущейся средой.

Основным достоинством этих фильтров является возможность возвращения фильтрующего слоя, состоящего из зерен шихты, вместе с уловленной пылью непосредственно в технологический цикл.

Также применяются зернистые фильтры, регенерируемые импульсной продувкой и периодическим движением вертикального слоя, к достоинствам которых относят:

- возможность более длительного рабочего цикла зернистого слоя без его замены, а при необходимости — быстрая смена слоя;

- возможность эксплуатации при повышенных температурах;

- отсутствие вращающихся узлов;

- возможность использования аппарата при комплексной очистке газа в качестве фильтра-реактора адсорбера.

К основным недостаткам зернистых насадочных фильтров относят:

- неравномерное распределение импульсного потока при регенерации фильтровальной поверхности;

- залегание зернистого слоя на жалюзийных решетках.

2.3.1.5 Керамические и металлокерамические фильтры

В керамическом фильтре загрязненный газ проходит через керамический фильтрующий материал, который может быть выполнен в различных формах (ткань, войлок, волокно, стойкий к истиранию агломерат или фильтровальные свечи).

Если требуется осуществить удаление кислых компонентов (например, гидрохлорида (316), оксидов азота (301, 304), диоксида серы (330)) и диоксинов (3620), то фильтрующий материал наполняют катализаторами; также может потребоваться впрыск реагентов.

В металлокерамических фильтрах, применяемых для очистки газов с крупнозернистыми и мелкими частицами, поверхностная фильтрация осуществляется спеченными пористыми металлическими фильтрующими элементами, которые устойчивы к абразивному износу от грубых частиц. Фильтрующие элементы можно регенерировать с помощью возвратной или импульсной струи сжатого воздуха, азота или чистого технологического газа — в зависимости от состава. Эти фильтры обычно используют, когда обычные синтетические (текстиль) или стекловолоконные фильтрующие материалы не применяют из-за недопустимости чрезмерно высокой рабочей температуры (>300 °C).

Керамические и металлокерамические фильтры в основном используют для удаления пыли при высоких температурах: на установках для сжигания и в системах газификации, где уголь используется в качестве топлива; в промышленности по переработке отходов; при производстве полимеров; в химической и стекольной промышленности; на нефтехимических заводах для сокращения выбросов (в основном мелких частиц катализатора); для удаления твердых частиц из остаточных продуктов установок крекинга на псевдоожиженном слое катализатора и установок замедленного коксования.

Основными достоинствами этих фильтров являются:

- механическая прочность и стойкость к тепловому удару (фильтры нечувствительны к колебаниям температуры). Механическая и термическая прочность пористых металлокерамических фильтров делает их пригодными для высокотемпературных

процессов, при которых необходим гарантированный срок службы более 4 лет без незапланированных остановок;

- очень низкое (<10 мбар) падение давления из-за высокой пористости материала;

- достижимый уровень выбросов менее 1 мг/норм. м^3.

Основными недостатками этих фильтров являются:

- высокая стоимость по сравнению с другими фильтрующими материалами;

- уязвимость керамического материала;

- относительно высокий перепад давления;

- низкая пригодность для очистки от влажных и (или) липких химических веществ;

- относительно дорогое техническое обслуживание и высокие эксплуатационные расходы.

2.3.1.6 Электрофильтры

Наиболее распространенными универсальными аппаратами для очистки промышленных газов от твердых и жидких частиц являются электрофильтры.

Электрофильтры подразделяют по ряду нижеперечисленных и других признаков:

- по форме осадительных электродов — на пластинчатые, трубчатые и сотовые;

- по направлению движения газового потока — на горизонтальные и вертикальные;

- по числу электрических полей — на двухпольные и многопольные;

- по числе параллельно работающих секций — на односекционные и многосекционные;

- по способу очистки пыли — на сухие и мокрые;

- по степени совмещения зон ионизации и очистки — на однозонные, или одноступенчатые, и двухзонные.

Основными преимуществами электрофильтров являются:

- высокая степень очистки, достигающая 99 %;

- низкие энергетические затраты на улавливание частиц, включающие потери энергии на преодоление газодинамического сопротивления аппарата, не превышающего 150–200 Па, и затраты энергии, обычно составляющие 0,3–1,8 МДж (0,1–0,5 кВт·ч) на 1000 м^3 газа;

- возможность улавливания частиц размером 100–0,1 мкм и менее; при этом концентрация взвешенных частиц в газах может колебаться от долей до 50 г/м^3 и более, а их температура может превышать 500 °С;

- возможность работы под давлением и разрежением, а также в условиях воздействия различных агрессивных сред;

- возможность полной автоматизации.

Основным недостатком электрофильтров является высокая чувствительность процесса электрической фильтрации газов к отклонениям от заданных параметров технологического режима, а также к незначительным механическим дефектам в активной зоне аппарата.

Также следует учитывать, что при эксплуатации электрофильтров неизбежно возникновение искровых разрядов. В связи с этим электрофильтры не применяют, если очищаемый газ представляет собой взрывоопасную смесь или такая смесь может образоваться в ходе процесса в результате отклонения от нормального технологического режима. В очень редких случаях электрофильтры используют в условиях возможного образования взрывоопасных сред, но при этом предпринимают особые меры предосторожности (специальные конструктивные решения, автоматическое отключение агрегата питания при возникновении взрывоопасных концентраций среды и т. п.).

Экономически целесообразно проводить реконструкцию действующих устаревших электрофильтров, позволяющую повысить степень пылеулавливания, увеличить объемы очищаемого газа, а также снизить концентрацию пыли после электрофильтра до 20 мг/м^3 и ниже. Применение методик повышения эффективности, основанных на изменении режимных, технологических, конструктивных и проектных параметров, позволяет достичь требуемых норм выбросов. Например, технологические методы, предусматривающие создание оптимизированных параметров пылегазовой среды путем изменения условий работы технологического оборудования, применяют для повышения зарядки частиц, ускорения движении их к осадительному электроду, увеличения времени пребывания их в активной зоне; также проводят оптимизацию регенерации осадительных и коронирующих электродов, сбор уловленной пыли и т. д. Конструктивные методы включают замену изношенных или неисправных узлов и систем на более совершенные с повышенной эффективностью; при этом возможен монтаж в существующие корпуса электрофильтров после ремонта.

В настоящее время применяют различные методы интенсификации процесса пылеулавливания, включая следующие:

- совершенствование параметров распределения электрического поля в межэлектродном пространстве;

- разработка и совершенствование коронирующих и осадительных электродов;

- создание квазиоднородного электростатического поля на осадительных электродах;

- увеличение времени пребывания частиц в активной зоне;

- использование гидродинамических и инерционных сил пылегазового потока;

- совершенствование газораспределительных систем корпуса электрофильтра;

- снижение скорости пылегазового потока в зоне осаждения;

- адаптация режимов регенерации электродов применительно к условиям эксплуатации электрофильтра и свойств улавливаемой пыли;

- оптимизации алгоритма встряхивания и управления агрегатами питания;

- своевременная диагностика и возможности предупреждения о возможных проблемах эксплуатации и др.

Для улавливания высокоомной пыли используют пылеулавливающий комплекс на базе диафрагменного электрофильтра с квазиоднородным электростатическим полем (ДЭФ КЭСП) с блоком управления напряжением и регенерацией электродов. Диафрагмы, служащие для изменения направления течения пылегазового потока в активной зоне электрофильтра, устанавливаются в один ряд, в шахматном порядке на входе или выходе из поля, посередине поля, вдоль или поперек осадительных электродов. КЭСП создается вблизи осадительных электродов. Параболические коронирующие электроды-интерцепторы создают целенаправленное механическое движение заряженных частиц пыли к осадительным электродам. В такой электродной системе действие электростатических сил усилено за счет гидродинамического эффекта, создаваемого зигзагообразной формой горизонтальных проходов, по которым движется пылегазовый поток в продольно-поперечном направлении. В активной зоне пылеулавливания квазиоднородное электростатическое поле создается вблизи осадительного электрода; при этом напряженность поля резко возрастает до уровня 10^{-15} 3,6 кВ/см и возникает дополнительная сила притяжения от градиента напряженности. В квазиоднородном электростатическом поле эта сила является существенной и способствует увеличению интенсивности пылеосаждения примерно в 6,8 раза. Пылегазовый поток, проходя через диафрагмы в зоне коронного разряда, сокращает скорость во столько раз, во сколько длина осадительных электродов больше ширины диафрагмы.

2.3.2 Очистка отходящих газов от аэрозолей (пылей и туманов) в сухих механических пылеуловителях

Механические пылеуловители традиционно используют для первичного удаления крупнодисперсных частиц из запыленных газовых потоков. Как правило, их распо-

лагают последовательно с устройствами других типов, предназначенных для улавливания мелких частиц (размером около 1 мкм), чтобы снизить нагрузки на последние.

По сравнению с другими типами пылеосадителей механические пылеуловители отличаются простотой конструкции и эксплуатации, относительной дешевизной, отсутствием движущихся частей, относительно малым расходом энергии на эксплуатацию, что связно с малым перепадом давления при прохождении газа через аппарат.

В сухих механических пылеуловителях используются различные механизмы осаждения:

- гравитационный (пылеосадительные камеры);

- инерционный (инерционные камеры, осаждение пыли в которых происходит в результате изменения направления движения газового потока или установки на его пути препятствия);

- центробежный (одиночные, групповые и батарейные циклоны, вихревые и динамические пылеуловители).

2.3.2.1 Гравитационные пылеуловители

Гравитационные пылеуловители действуют по принципу осаждения частиц при медленном движении пылегазового потока через рабочую камеру. В практических условиях используют полые и полочные камеры; в целях оптимизации габаритных размеров аппаратов устанавливают полки.

Гравитационные пылеуловители являются простейшими устройствами для улавливания пыли или крупных частиц. Как самостоятельный элемент пылеулавливающей системы, они имеют ограниченное применение из-за своих габаритных размеров, и обычно применяют их упрощенные конструкции в качестве элементов основного технологического оборудования.

В вертикальных пылеуловителях частицы улавливаются со скоростью оседания выше скорости пылегазового потока, поэтому их используют для улавливания крупных частиц. Более сложную конструкцию имеют камеры дефлекторного типа, в которых пыль собирается в кольцевом коллекторе, окружающем дымовую трубу.

Основными преимуществами этих пылеосадительных камер являются простота и надежность конструкции; малое гидравлическое сопротивление; возможность удаления из газового потока фракций крупных частиц с высокой абразивностью.

Основными недостатками этих пылеосадительных камер являются большие габаритные размеры и низкая эффективность.

2.3.2.2 Инерционные пылеуловители

Инерционные пылеуловители действуют по принципу выделения частиц под действием сил инерции, возникающих в результате изменения направления или скорости движения газа посредством установки одной или нескольких перегородок. Эти устройства устанавливают для улавливания наиболее крупных частиц с повышенными абразивными свойствами.

По сравнению с другими аппаратами камера с плавным поворотом газового потока имеет меньшее гидравлическое сопротивление; степень улавливания пыли с размером частиц 25–30 мкм составляет 65 % — 80 %. Такие камеры традиционно используют на предприятиях черной и цветной металлургии.

Эффективным пылеуловителем является экранный инерционный пылеуловитель, характеризующийся очень низким перепадом давления.

В жалюзийных инерционных аппаратах очищаемые газы проходят через жалюзийную решетку (состоящую из рядов колец или пластин), делая при этом резкие повороты и разделяясь на два потока: пыль преимущественно содержится в потоке, который отсасывают и направляют в циклон. Там поток подвергается очистке от более мелких фракций пыли, после чего его снова сливают с основной частью потока, который прошел через решетку. Скорость газа перед жалюзийной решеткой устанавливают достаточно высокой (до 15 м/с) в целях достижения инерционного отделения пыли. Обычно жалюзийные пылеуловители используют для улавливания пыли с размером частиц более 20 мкм. Основным недостатком этих аппаратов является износ пластин в жалюзийных решетках при высокой концентрации пыли.

Инерционные пылеуловители могут оснащать жалюзийными вытяжными отверстиями, в которых очищаемый газ поступает в широкую полость усеченного конуса, имеющего по всей поверхности жалюзевидные щели. Эти аппараты являются более сложными, но и более эффективными по сравнению с обычными жалюзийными инерционными аппаратами.

Повышение эффективности пылеулавливания может быть достигнуто посредством применения эжекции, позволяющей создать повышенную скорость газа на участке ввода шунтированного потока через циклон, или с помощью установки дополнительного побудителя тяги.

2.3.2.3 Центробежные пылеуловители

В промышленности наиболее широко применяются циклонные осадители, в которых частицы пыли выделяются из газового потока под воздействием центробежных сил, возникающих вследствие вращения потока в корпусе аппарата. Циклоны подразделяют на аппараты со спиральным, тангенциальным и винтообразным, а также осевым (розеточным) подводом газов. Чаще всего используют цилиндрические (с удлиненной цилиндрической частью) и конические (с удлиненной конической частью) циклоны.

К основным достоинствам циклонных осадителей относят:

- отсутствие движущихся частей в аппарате;

- надежность работы при температурах газов до 500 °С (для работы при более высоких температурах циклоны изготавливают из специальных материалов или выполняют футеровку);

- возможность улавливания абразивных материалов при защите внутренних поверхностей циклонов специальными покрытиями;

- улавливание пыли в сухом виде;

- практически постоянное гидравлическое сопротивление аппарата;

- эффективная работа при высоких давлениях газов;

- простота изготовления;

- сохранение высокой фракционной степени очистки при увеличении запыленности газов.

К основным недостаткам циклонных осадителей относят:

- высокое гидравлическое сопротивление, равное 1250–1500 Па;

- плохое улавливание частиц размером <5 мкм;

- невозможность использования для очистки газов от влажных и слипающихся пылей;

- невозможность использования при температуре газов ниже точки росы.

При больших расходах очищаемых газов применяют групповую компоновку циклонов, потому что установка одного высокопроизводительного циклона, имеющего большую высоту, приводит к затруднениям при его размещении. Группа циклонов снабжается общим бункером для сбора пыли.

В случае необходимости установки большого числа циклонов для оптимального распределения газов, уноса, отвода уловленной пыли используют батарейный циклон (мультициклон) — аппарат, составленный из большого числа параллельно включенных

циклонных элементов, которые заключены в один корпус с общим подводом и отводом газов, а также сборный бункер. Мультициклоны могут состоять из нескольких десятков и даже сотен параллельно включенных малогабаритных циклонов. Например, в отечественных конструкциях в одном аппарате насчитывается до 792 циклонных элементов при расходе газа до 650 000 м^3/ч.

В то же время при использовании мультициклонов необходимо учитывать, что степень очистки газов в них несколько ниже той, которую можно достичь в равных по диаметру обычных циклонах. По оценкам экспертов, примерно одинаковым КПД обладают обычные циклоны вдвое большего диаметра, чем батарейные. Кроме того, следует принимать во внимание, что большое число циклонных элементов, объединенных общим бункером в одной секции батарейного циклона, требует равномерного распределения очищаемых газов; в случае применения элементов малого диаметра соответственно увеличивается их необходимое число, а это, в свою очередь, повышает опасность неравномерного распределения газов и возрастания вредных перетоков газов между элементами через общий бункер.

К центробежным пылеуловителям относят вихревые пылеуловители, основным отличием которых от циклонов является наличие вспомогательного закручивающего газового потока.

В вихревых пылеуловителях соплового типа запыленный газовый поток закручивается лопаточным завихрителем и движется вверх, подвергаясь при этом воздействию трех струй вторичного газа, вытекающих из тангенциально расположенных сопел. Под действием центробежных сил частицы отбрасываются к периферии, а оттуда — в возбуждаемый струями спиральный поток вторичного газа, направляющий их вниз, в кольцевое межтрубное пространство.

Вторичный газ в ходе спирального обтекания потока очищаемого газа постепенно полностью проникает в него. Кольцевое пространство вокруг входного патрубка оснащено подпорной шайбой, обеспечивающей безвозвратный спуск пыли в бункер. В качестве вторичного газа в вихревых пылеуловителях может быть использован свежий атмосферный воздух, часть очищенного газа или запыленные газы.

С экономической точки зрения наиболее целесообразным решением является использование в качестве вторичного газа запыленных газов, поскольку при этом производительность аппарата повышается на 40 % — 65 % без заметного снижения степени очистки. Экспериментально установлено, что оптимальный расход вторичного газа должен составлять 30 % — 35 % от расхода первичного газа.

Для повышения степени пылеулавливания вихревые пылеуловители можно компоновать в группы (за счет уменьшения диаметра аппаратов).

К основным достоинствам вихревых пылеуловителей (по сравнению с циклонами) относят:

- более высокую степень улавливания высокодисперсной пыли;
- отсутствие абразивного износа внутренних поверхностей аппарата;
- возможность очистки газов с более высокой температурой за счет использования холодного вторичного воздуха;
- возможность регулирования процесса сепарации пыли за счет изменения количества вторичного газа.

К основным недостаткам вихревых пылеуловителей относят:

- необходимость использования дополнительного дутьевого устройства;
- повышение (за счет вторичного газа) общего объема газов, проходящих через аппарат (в случае использования атмосферного воздуха);
- более сложную эксплуатацию.

Динамические пылеуловители представляют собой механизм, состоящий из рабочего колеса и кожуха (пылеприемника), где пылегазовый поток приводится во вращательное движение рабочим колесом. При этом под действием центробежной силы пыль выделяется из очищаемого газа. Динамические пылеуловители обеспечивают высокую степень очистки отходящих газов при улавливании частиц размером >10 мкм. Из динамических пылеуловителей наибольшее распространение получил дымосос-пылеуловитель, предназначенный для улавливания частиц пыли со средним размером >15 мкм.

В таблице 3 приведены сравнительные характеристики рассмотренных сухих механических пылеуловителей.

Таблица 3 — Сравнительные характеристики сухих механических пылеуловителей

Тип пылеуловителя	Максимальная производительность, $м^3/ч$	Степень пылеулавливания частиц различных размеров, %	Гидравлическое сопротивление, Па	Верхний предел температуры газов
Осадительная камера	В зависимости от габаритных размеров	80–90 (50 мкм)	50–130	350–550
Циклон	85 000	50–80 (10 мкм)	250–1500	350–550

Тип пылеуловителя	Максимальная производительность, $м^3/ч$	Степень пылеулавливания частиц различных размеров, %	Гидравлическое сопротивление, Па	Верхний предел температуры газов
Вихревой пылеуловитель	30 000	90 (2 мкм)	До 2000	До 250
Батарейный циклон	170 000	90 (5 мкм)	750–1500	350–550
Инерционный пылеуловитель	127 000	90 (2 мкм)	750–1500	До 400
Динамический пылеуловитель	42 500	90 (2 мкм)	750–1500	До 400

2.3.3 Очистка отходящих газов от аэрозолей (пылей и туманов) в мокрых пылеуловителях

Мокрые пылеуловители используют для удаления газообразных галогенидов водорода (342, 316), диоксида серы (330), аммиака (303), сероводорода (333), летучих органических растворителей, а также для удаления взвешенных веществ (2902) в определенных типах скрубберов.

Мокрые пылеуловители разделяют на три группы: инерционные; фильтрационные; электрические. В группу инерционных мокрых пылеуловителей входят циклоны с водяной пленкой, ротационные, скрубберы и ударные аппараты.

К мокрым фильтрационным аппаратам, предназначенным для очистки пылевых выбросов, относят различные пенные пылеуловители (пенные пылеуловители с переливной и провальной решеткой, струйно-пенные, ударно-пенные, циклонно-пенные и пенно-вихревые аппараты), а также барботажные пылеуловители без решетки и с подачей запыленного воздуха под утопленную в воде решетку.

Мокрые электрофильтры классифицируют так же, как и сухие. Но мокрые электрофильтры отличаются от сухих только применением воды в виде стекающей пленки на осадительных электродах; при отделении жидкой дисперсной фазы (например, тумана) уловленная жидкость стекает по электродам без применения воды.

Выбор очищающей жидкости зависит от загрязняющих веществ, подлежащих удалению:

- для удаления органических соединений, взвешенных веществ (2902) и газов (например, галогениды водорода (342, 316) и аммиак (303)) применяют воду; при этом

основная цель заключается в извлечении и повторном использовании этих загрязняющих веществ;

- для удаления кислых составляющих (галогениды водорода, диоксид серы (330), сероводород (333), фенолы (1071), хлор (349) и др.) применяют щелочные растворы (например, каустической соды — гидроксида натрия — и карбоната натрия). Метод обычно применяют на второй стадии промывки для удаления остаточных галогенидов водорода после водной абсорбции на первой стадии, а также для десульфуризации биогаза;

- для обработки дурнопахнущих загрязняющих веществ применяют щелочные растворы с окислителями, например гипохлоритом натрия (NaClO), диоксидом хлора (ClO_2), озоном (O_3) или перекисью водорода (H_2O_2);

- для извлечения оксидов азота (301, 304) из концентрированных отходящих газов применяют окисляющие растворы;

- для удаления, например, альдегидов применяют растворы гидросульфита натрия бисульфит;

- для удаления ртути (183) из отходящего газа применяют растворы Na_2S_4;

- для удаления щелочных компонентов (например, аммиака (303), аминов и сложных эфиров) применяют кислые растворы;

- для абсорбции и извлечения сероводорода (333) применяют растворы моноэтаноламина и диэтаноламина;

- для извлечения легких летучих органических соединений применяют органические растворители с низкой летучестью.

Экономическая целесообразность применения мокрых пылеуловителей определяется не только задачами газоочистки, но и необходимостью одновременного охлаждения и осушки (или увлажнения) газов, улавливания туманов и брызг, абсорбции газовых примесей и др. При совместном решении вопросов пылеулавливания и химической очистки газов выбор орошающей жидкости (абсорбента) обусловливается процессом абсорбции.

В зависимости от поверхности контакта или по способу действия мокрые пылеуловители подразделяют на:

- полые газопромыватели (оросительные устройства; промывные камеры; полые форсуночные скрубберы);

- насадочные скрубберы;

- тарельчатые газопромыватели (барботажные и пенные аппараты);

- газопромыватели с подвижной насадкой;

- мокрые аппараты ударно-инерционного действия (ротоклоны);

- мокрые аппараты центробежного действия;

- механические газопромыватели (механические скрубберы, динамические скрубберы);

- скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури, эжекторные скрубберы).

В известной степени к мокрым пылеуловителям можно отнести мокрые электрофильтры, орошаемые волокнистые фильтры и аппараты конденсационного действия.

Иногда мокрые пылеуловители подразделяют по затратам энергии на низконапорные, средненапорные и высоконапорные. К низконапорным аппаратам (форсуночные скрубберы, барботеры, мокрые центробежные аппараты и др.) относятся пылеуловители, гидравлическое сопротивление которых не превышает 1500 Па. К средненапорным мокрым пылеуловителям (динамические скрубберы, газопромыватели ударно-инерционного действия, эжекторные скрубберы) относятся пылеуловители, гидравлическое сопротивление которых варьируется в пределах от 1500 до 3000 Па. Группа высоконапорных газопромывателей с гидравлическим сопротивлением больше 3000 Па включает в основном скрубберы Вентури и дезинтеграторы.

Выбор скруббера зависит от следующих факторов:

- требования к эффективности работы;

- энергопотребление;

- реагенты;

- свойства потока отходящих газов.

Обычно скрубберы эксплуатируют с холодильниками предварительного охлаждения (например, камерами распыления и гасителями) в целях понижения температуры газа на входе и одновременного насыщения газового потока, что позволяет избежать сокращения скорости поглощения и испарения растворителя. Такие дополнительные устройства обеспечивают малые перепады давления.

Основными достоинствами мокрых пылеуловителей являются:

- сравнительно небольшая стоимость (без учета шламового хозяйства);

- более высокая эффективность улавливания частиц по сравнению с сухими механическими пылеуловителями;

- возможность применения для очистки газов от частиц размером до 0,1 мкм;

- возможность использования в качестве абсорберов, для охлаждения и увлажнения (кондиционирования) газов в качестве теплообменников смешения.

Основными недостатками мокрых пылеуловителей являются:

- возможность забивания газоходов и оборудования пылью (при охлаждении газов);

- потери жидкости вследствие брызгоуноса;

- необходимость антикоррозионной защиты оборудования при фильтрации агрессивных газов и смесей.

2.3.3.1 Полые газопромыватели

В полых газопромывателях газопылевой поток пропускают через завесу распыляемой жидкости: частицы пыли захватываются каплями промывной жидкости и осаждаются в промывателе, а очищенные газы удаляются из аппарата. Самым распространенным аппаратом этого вида является полый форсуночный скруббер, который используется как для очистки газов от достаточно крупных частиц пыли, так и для охлаждения газов, выполняя в различных системах пылеулавливания роль аппарата, обеспечивающего подготовку (кондиционирование) газов.

2.3.3.2 Насадочные газопромыватели

Насадочные газопромыватели представляют собой колонны, заполненные телами различной формы. Эти аппараты желательно применять только при улавливании хорошо смачиваемой пыли и в тех случаях, когда процессы улавливания пыли сопровождаются охлаждением газов или абсорбцией. При улавливании плохо смачиваемой пыли (но не склонной к образованию твердых отложений) могут использоваться аппараты с регулярной и разреженной насадкой. Широко применяются противоточные насадочные скрубберы.

2.3.3.3 Тарельчатые газопромыватели

Принцип действия этих аппаратов (часто называемых пенными аппаратами) основан на взаимодействии газов с жидкостью на тарелках различной конструкции. По мере повышения скорости газов взаимодействие газового и жидкостного потоков протекает более интенсивно, сопровождаясь образованием высокотурбулизованной пены, в которой происходит непрерывное разрушение, слияние и образование новых пузырьков. В промышленности используют тарельчатые (пенные) газопромыватели различных конструкций: аппарат с провальными тарелками, аппарат с переливными тарелками.

Широкое распространение получили тарельчатые газопромыватели с подвижной насадкой, представляющей собой шары из полимерных материалов, стекла или пористой резины; при этом плотность шаров насадки не должна превышать плотности жидкости. В качестве насадки могут также использоваться кольца, седла и т. д.

В состав скрубберов с подвижным слоем входят зоны с подвижной загрузкой (обычно полимерные шарики с низкой плотностью). Оболочка емкости содержит опорные сетки, на которых размещены подвижная загрузка, впускные и выпускные отверстия для скрубберной жидкости и туманоуловитель. Скрубберы с подвижным слоем применяют для удаления диоксида серы (330), фторидов и запахов, а также для обработки отходящих газов, содержащих пыль, склонную к образованию комков (чешуек). Эти скрубберы слабо подвержены засорению, поскольку шарики находятся в постоянном состоянии перемешивания и псевдоожижения.

Для обеспечения стабильности работы в широком диапазоне скоростей газа, улучшения распределения жидкости и уменьшения уноса брызг используются аппараты двух типов (форсуночный и эжекционный) с подвижной шаровой насадкой конической формы.

2.3.3.4 Газопромыватели ударно-инерционного действия

Самая простая конструкция газопромывателя ударно-инерционного действия представляет собой вертикальную колонну, в нижней части которой находится слой жидкости. Для удаления уплотненного осадка со дна применяют смывные сопла; во время периодического отвода шлама подпитка воды производится только для компенсации ее потерь за счет испарения. Поэтому эти аппараты желательно применять для очистки холодных или предварительно охлажденных газов.

В скруббере Дойля газовый поток поступает через трубы, в нижней части которых установлены конусы, увеличивающие скорость газов в свободном сечении трубы.

Типичным примером газопромывателей ударно-инерционного действия является ротоклон типа N, где установлены один или несколько изогнутых щелевых каналов, нижняя часть которых затоплена жидкостью. Газовый поток, ударяясь о поверхность жидкости, захватывает часть жидкости и заставляет ее двигаться вдоль нижней направляющей канала. После этого жидкость отбрасывается к верхней направляющей, а при выходе из щели падает в виде сплошной водяной завесы. Для предотвращения уноса капель газы после канала проходят через систему каплеотбойных устройств. Скорость газов в канале обычно не превышает 15 м/с.

2.3.3.5 Скрубберные газопромыватели центробежного действия

Скрубберные газопромыватели центробежного действия подразделяют на два вида:

- газопромыватели, в которых закручивателем служит центральное лопастное устройство;

- газопромыватели, в которых вращательное движение пылегазовому потоку придается за счет тангенциального подвода потока.

Широкое распространение получили центробежные скрубберы с тангенциальным подводом газопылевого потока и пленочным орошением, создаваемым форсунками.

Типичным примером скрубберных газопромывателей центробежного действия является циклон с водяной пленкой, предназначенный для очистки запыленного вентиляционного воздуха от любых видов нецементирующейся пыли.

2.3.3.6 Скрубберы Вентури

Скрубберы с трубами Вентури представляют собой высокоэффективные устройства для удаления твердых частиц размером < 1 мкм. Также их можно использовать для удаления микропримесей газов, особенно реактивных суспензий.

Основной конструктивной особенностью скрубберов Вентури является наличие трубы-распылителя, оснащенной форсунками для подачи жидкости, в которую поступает загрязненный газ. Сечение конуса сужается, заставляя смесь газа и жидкости двигаться быстрее — возникает эффект турбулентности. Турбулентность дробит поток на мельчайшие капельки, на поверхности которых оседают частицы. По мере поступления потока в расширяющуюся часть аппарата его скорость снижается, турбулентность падает. Жидкость собирается в крупные капли и оседает на дно под действием силы тяжести, а очищенный газ снова подается в атмосферу.

Скрубберы Вентури могут работать со степенью очистки 96 % — 98 % на пылях со средним размером частиц 1–2 мкм и улавливать высокодисперсные частицы пыли (вплоть до субмикронных размеров) в широком диапазоне начальной концентрации пыли в газе — от 0,05 до 100 м^3.

Если в потоке отходящих газов содержатся твердые частицы и газы, подлежащие удалению, то скруббер Вентури можно использовать как устройство предварительной очистки, в котором удаляются твердые частицы в целях предотвращения засорения последующего очистного оборудования, например насадочного скруббера.

В последние годы достаточно широко начали применять пленочное орошение, при котором подаваемая вода непрерывно стекает по стенкам конфузора, образуя возобновляющуюся пленку. Дробление пленки на капли происходит за счет энергии высокоскоростного потока газа. Основным достоинством пленочного орошения является отсутствие мелких отверстий, склонных к зарастанию и засорению, а также возможность подачи на орошение воды пониженного качества, что очень важно в условиях оборотного водоснабжения газоочисток.

Высоконапорные трубы Вентури предназначены для распыливания газов с температурой до 400 °С и концентрацией пыли 30 г/м^3; допустимое содержание взвеси в оборотной воде — 0,5 г/л.

В настоящее время на предприятиях используют две основные модификации скрубберов Вентури: первая рассчитана на производительность от 2000 до 50 000 м^3/ч и включает четыре типоразмера, вторая рассчитана на производительность по газам от 50 000 до 500 000 м/ч.

Особенности компоновочных решений, технологических и эксплуатационных требований установок с трубами Вентури обуславливают применение различных каплеуловителей, выбор конструкции которых зависит преимущественно от размера улавливаемых капель: чем выше скорость газа в горловине, тем интенсивнее осуществляется процесс дробления и тем меньше размер выносимых из трубы Вентури капель.

В качестве каплеуловителей в скруббере Вентури можно применять сепараторы различных конструкций. Наибольшее распространение получили циклоны, коленные сепараторы, разделительные емкости, сепараторы с закручивающими элементами. Значительно реже в качестве каплеуловителей используются пенные аппараты, полые и насадочные скрубберы, электрофильтры.

При большом удельном расходе орошающей жидкости, а также в случае очистки в скрубберах Вентури переменных объемов газов применяют двухступенчатую сепарацию влаги. На первой ступени для улавливания основного количества жидкости обычно используют разделительные емкости и коленные сепараторы, на второй — циклонные сепараторы для доулавливания капельной влаги. Это позволяет достичь высокой степени улавливания капель и осевших на них частиц пыли во всем диапазоне изменения производительности по газу.

2.3.4 Физико-химические методы очистки отходящих газов

В зависимости от характера протекания физико-химические методы очистки отходящих газов подразделяют на следующие основные группы:

- промывка выбросов растворителями примесей (абсорбция);
- промывка выбросов растворами реагентов, связывающих примеси химически (хемосорбция);
- поглощение газообразных примесей твердыми активными веществами (адсорбция);
- термическая нейтрализация отходящих газов;
- каталитическое окисление;
- ионизация;
- фотоокисление/окисление в ультрафиолетовом свете.

2.3.4.1 Абсорбция

Метод абсорбции основывается на разделении газо-воздушной смеси на составные части посредством поглощения одного или нескольких газовых компонентов (абсорбатов) этой смеси жидким поглотителем (абсорбентом) с образованием раствора.

Для удаления из выбросов аммиака (303), хлористого/фтористого водорода (316, 342) целесообразно применять в качестве поглотительной жидкости воду, потому что их растворимость в воде составляет сотни граммов на 1 кг воды. При поглощении из газов диоксида серы (330) или хлора расход воды будет более значительным, потому что их растворимость составляет только сотые доли грамма на 1 кг воды. В некоторых особых случаях вместо воды применяют водные растворы сернистой кислоты (для улавливания водяных паров), вязкие масла (для улавливания ароматических углеводородов из коксового газа) и др.

Контакт газового потока с жидким растворителем производится либо пропусканием газа через насадочную колонну, либо распылением жидкости, либо барботажем газа через слой абсорбирующей жидкости. В зависимости от способа контакта «газ — жидкость» различают:

- насадочные башни — форсуночные и центробежные скрубберы;
- скрубберы Вентури;
- барботажно-пенные скрубберы;
- тарельчатые и другие скрубберы.

Широкое распространение получили башни с колпачковыми тарелками. Иногда вместо колпачковых тарелок применяют перфорированные пластины с большим количеством мелких отверстий (диаметром примерно 6 мм), которые создают пузырьки газа одинаковой формы и размера; более мелкие отверстия затрудняют стекание промывной жидкости, особенно при значительном расходе газа.

Применение абсорбционных методов обычно связано с использованием схем, включающих узлы абсорбции и десорбции. Десорбцию тарельчатого абсорбера растворенного газа (или регенерацию растворителя) проводят либо снижением общего давления (или парциального давления) примеси, либо повышением температуры, либо использованием двух приемов одновременно.

Достоинством абсорбционных методов является экономичность очистки большого количества газов и осуществление непрерывных технологических процессов.

В процессе эксплуатации абсорбционных аппаратов следует предусматривать создание систем регенерации отработавших абсорбентов, поскольку метод сопровождается образованием большого количества отходов (смесь пыли, растворителя и продуктов поглощения). Таким образом, возникают проблемы регенерации, обезжиривания, транспортирования и утилизации образующегося шлама, что, в свою очередь, приводит к удорожанию и осложнению эксплуатации.

2.3.4.2 Хемосорбция

Метод хемосорбции базируется на поглощении газов и паров твердыми или жидкими поглотителями с образованием слаболетучих химических соединений на поверхности или в растворе.

Для реализации хемосорбции используют насадочные башни, пенные и барботажные скрубберы, распылительные аппараты типа труб Вентури и аппараты с различными механическими распылителями. Также широко используют аппараты с подвижной насадкой, достоинством которых является высокая эффективность разделения при умеренном гидравлическом сопротивлении, а также большая пропускная способность по газу.

Применяемые для очистки выбросов методы абсорбции и хемосорбции классифицируют как «мокрые».

Основным недостатком этих методов является значительное снижение температуры газов после осуществления очистки, что в конечном итоге приводит к снижению эффективности рассеивания остаточных газов в атмосфере (для этих целей может ис-

пользоваться дополнительный подогрев отходящих газов). Также следует учитывать, что оборудование громоздко и требует создания системы жидкостного орошения.

2.3.4.3 Адсорбция

Метод адсорбции базируется на использовании физических свойств некоторых твердых тел с ультрамикроскопической структурой селективно извлекать из газовой смеси отдельные компоненты и концентрировать их на своей поверхности. В пористых телах с капиллярной структурой поверхностное поглощение дополняется капиллярной конденсацией.

Основными направлениями использования адсорбции являются:

- извлечение летучих органических соединений для их повторного использования или циркуляции в замкнутом цикле; также может использоваться в качестве автономной системы, в качестве стадии концентрирования для повышения эффективности последующего извлечения, например, с помощью мембранной сепарации или для обработки выбросов систем газоочистки;

- очистка от загрязняющих веществ, например ЛОС, H_2S, запахов, микропримесей газов, которые не могут быть использованы для циркуляции в замкнутом цикле или каким-либо иным образом; также может осуществляться с использованием в качестве адсорбента гранулированного активированного угля, который не регенерируется, а подвергается сжиганию.

В качестве промышленных адсорбентов в основном используются смешанно-пористые материалы с высокоразвитой внутренней поверхностью, имеющие искусственное или природное происхождение; в соответствии с размером пор, преобладающим в их структуре, адсорбенты подразделяют на микро-, переходно- и макропористые. Наиболее широко применяются следующие виды адсорбентов:

- гранулированный активированный уголь (адсорбент с широким диапазоном эффективности как для полярных, так и неполярных соединений), который может быть пропитан, например, окислителями (перманганатом калия или соединениями серы) для улучшения удержания тяжелых металлов; можно использовать в сочетании с полимерами;

- цеолиты, свойства которых зависят от их производства, служащие простыми молекулярными ситами, избирательными ионообменниками или гидрофобными адсорберами летучих органических соединений; можно использовать в сочетании с полимерами;

- макропористые полимерные частицы, которые используются в виде гранул или шариков, не обладая высокой избирательностью в отношении летучих органических соединений;

- силикагель;

- натрий-силикаты алюминия.

К основным видам адсорбционных систем относят:

- адсорбцию с неподвижным слоем;

- адсорбцию с псевдоожиженным слоем;

- непрерывную адсорбцию с подвижным слоем;

- адсорбцию при переменном давлении (PSA).

Адсорбция применяется для регулирования содержания, извлечения, рециркуляции или подготовки к последующей обработке летучих органических соединений и выбросов в атмосферу органических загрязняющих веществ, например выбросов, которые образуются при обезжиривании, покраске распылением, экстракции растворителями, покрытии металлической фольгой, нанесении пленочных покрытий, мелковании бумаги, производстве лекарственных препаратов и др.

Адсорбенты можно использовать последовательно: например, на первом этапе для отделения высоких концентраций летучих органических соединений применить полимеры, а на втором этапе для отделения менее концентрированных летучих органических соединений использовать цеолиты.

Выбор конструкции адсорбера определяется скоростью газовой смеси, размером частиц адсорбента, требуемой степенью очистки и др. Конструктивно адсорберы выполняются в виде вертикальных, горизонтальных либо кольцевых емкостей, заполненных пористым адсорбентом, через который фильтруется поток очищаемого газа. Вертикальные адсорберы обычно применяют при небольших объемах очищаемого газа; горизонтальные и кольцевые — при высокой производительности, достигающей десятков и сотен тысяч кубических метров в час.

Использование адсорбции при переменном давлении позволяет отделять газы или пары из смеси отходящих газов и одновременно регенерировать адсорбент. Процесс включает четыре этапа: 1) создается давление газа, поступающего в адсорбер; 2) адсорбция происходит при высоком давлении, и, следовательно, образуются чистые компоненты; 3) давление сбрасывается; 4) производится продувка при низком давлении или под вакуумом.

Фильтрация газа может происходить через неподвижный (адсорберы периодического действия) или движущийся слой адсорбента. Наиболее широко применяются ад-

сорберы периодического действия, в которых период контактирования очищаемого газа с твердым адсорбентом чередуется с периодом регенерации адсорбента. Эти установки отличаются конструктивной простотой, но в то же время имеют низкие допускаемые скорости газового потока и, следовательно, повышенную металлоемкость и громоздкость. Основным недостатком этих аппаратов являются большие энергетические затраты, связанные с преодолением гидравлического сопротивления слоя адсорбента.

Цикличность адсорбционных процессов предопределяет необходимость периодической регенерации насыщенных целевыми компонентами поглотителей. Ключевой операцией восстановления сорбционной способности адсорбентов является десорбция, потому что для ее проведения требуется от 40 % до 70 % общих затрат на адсорбционную газоочистку. Десорбцию проводят, используя повышение температуры, вытеснение адсорбата более хорошо сорбирующимся веществом, снижение давления (в том числе создание вакуума) или комбинацию этих приемов. Возможность эффективного осуществления десорбции и концентрирования загрязняющих веществ с последующим обезвреживанием этих загрязняющих веществ в ряде случаев определяет целесообразность выбора адсорбции как метода очистки отходящих газов.

Термическую десорбцию проводят, нагревая насыщенный адсорбент до определенной температуры, которая обеспечивает необходимую интенсивность процесса, прямым контактом с потоком водяного пара, горячего воздуха или инертного газа, или же проводя нагрев через стенку с подачей и в аппарат некоторого количества отдувочного агента (обычно инертного газа). Использование температурного интервала от 100 °С до 200 °С, как правило, обеспечивает возможность десорбции компонентов, поглощенных активными углями, силикагелями и алюмогелями. Использование температурного интервала от 200 °С до 400 °С обычно является достаточным для десорбции примесей, поглощенных цеолитами.

Холодная (или вытеснительная) десорбция основывается на различии сорбируемости целевого компонента и вещества, используемого в качестве десорбента (вытеснителя). Для десорбции поглощенных адсорбентом органических веществ можно использовать диоксид углерода, аммиак, воду, некоторые органические и другие вещества, которые могут обеспечить эффективное вытеснение целевого компонента и относительную простоту его последующей десорбции из адсорбента. Этот подход является перспективным при реализации адсорбционных процессов на основе использования цеолитов, которые характеризуются повышенной адсорбционной активностью в отношении паров воды, что предопределяет ее эффективность как десорбента поглощенных цеолитами веществ.

Десорбцию посредством снижения давления можно реализовать двумя способами: редуцированием давления в системе после насыщения поглотителя на стадии адсорбции, проводимой под избыточным давлением, или созданием в системе разрежения при осуществлении стадии адсорбции под нормальным давлением.

Вакуумная десорбция (из-за значительных энергозатрат и необходимости обеспечения герметичности соответствующих установок) используется в ограниченных масштабах.

Десорбция, базирующаяся на перепаде давления между стадиями адсорбции и десорбции, используется в установках короткоцикловой безнагревной адсорбции, которые получили в последнее время достаточно широкое применение в целях осушки воздуха и других газов, которая в ряде случаев является необходимой ступенью, предшествующей очистке газов от вредных примесей.

2.3.4.4 Термическая нейтрализация

Метод термической нейтрализации базируется на способности горючих токсичных компонентов (газов, паров и дурнопахнущих веществ) окисляться при наличии свободного кислорода и высокой температуры газовой смеси до менее токсичных веществ.

Во многих случаях термическая нейтрализация вредных примесей имеет ряд преимуществ перед методами адсорбции и абсорбции:

- отсутствие шламового хозяйства;
- небольшие габариты очистных установок;
- простота обслуживания;
- высокая эффективность обезвреживания при низкой стоимости очистки и др.

Область применения термической нейтрализации ограничивается характером продуктов реакции, образующихся при окислении: например, при сжигании газов, содержащих фосфор, галогены и серу, образующиеся продукты реакции во много раз превышают исходный газовый выброс по токсичности. Поэтому термическая нейтрализация используются только для обработки выбросов, которые включают токсичные компоненты органического происхождения, но не содержат галогены, серу и фосфор.

Различают три схемы термической нейтрализации газовых выбросов:

- прямое (непосредственное) сжигание в пламени;
- термическое окисление;
- каталитическое сжигание.

Прямое (непосредственное) сжигание в пламени и термическое окисление осуществляют при температурах 600 °С — 800 °С, каталитическое сжигание — при 250 °С — 450 °С. Выбор схемы термической нейтрализации определяется химическим составом загрязняющих веществ, их концентрацией, начальной температурой газовых выбросов, объемным расходом и предельно допустимыми нормами выброса загрязняющих веществ.

Прямое сжигание используют только в тех случаях, когда отходящие газы имеют теплоту сгорания, необходимую для осуществления реакции с минимальным расходом топлива. Из экономических соображений этот вклад должен превышать 50 % общей теплоты сгорания. Эти системы огневого обезвреживания обеспечивают степень очистки 0,90 % — 0,99 %, если время пребывания вредных веществ в высокотемпературной зоне превышает 0,5 с, температура обезвреживания газов, содержащих углеводороды, превышает 500 °С — 650 °С, а содержащих оксид углерода (337) — 660 °С — 750 °С.

Термическое окисление применяют в тех случаях, когда температура отходящих газов высока, но в них отсутствует достаточное количество кислорода, либо когда концентрация горючих примесей настолько низка, что они не обеспечивают подвод теплоты, необходимой для поддержания пламени. При температуре отходящих газов, которая достаточна для самовоспламенения газовоздушной смеси, процесс дожигания происходит в камере с подмешиванием свежего воздуха.

Окисление газовоздушной смеси представляет собой окисление горючих газов и ароматических веществ в потоке отходящих газов путем нагревания смеси загрязняющих веществ с воздухом или кислородом до температуры, превышающей температуру самовоспламенения газовоздушной смеси на 300 °С — 350 °С, и поддержания высокой температуры в течение достаточного для полного окисления компонентов времени.

Если температура отходящих газов недостаточна для протекания процесса окисления, то поток отходящих газов подогревают в теплообменнике, после чего пропускают через рабочую зону, в которой сжигают природный или какой-либо другой высококалорийный газ.

Факельное сжигание представляет собой высокотемпературное окисление, используемое для сжигания горючих компонентов отходящих газов в открытом пламени и применяемое преимущественно для сжигания легковоспламеняющихся газов по соображениям безопасности или при возникновении нештатных условий эксплуатации.

2.3.4.5 Каталитическое окисление

Каталитическое окисление используют для превращения токсичных компонентов выбросов в безвредные/менее вредные для окружающей среды вещества, осуществляя введение в систему дополнительных веществ-катализаторов, которые позволяют выполнить процесс при более низких температурах.

Каталитическое окисление базируется на взаимодействии удаляемых веществ с одним из компонентов, присутствующих в очищаемом газе, или со специально добавляемым в смесь веществом. Катализатор, взаимодействуя с одним из реагирующих соединений, образует промежуточное вещество, которое распадается с образованием продукта регенерированного катализатора.

Принцип действия каталитических окислителей аналогичен принципу действия высокотемпературных окислителей; основное отличие заключается в том, что при каталитическом окислении газ проходит через слой катализатора после прохождения через зону пламени. Катализатор позволяет увеличить скорость реакции окисления и проводить преобразования при более низких температурах реакции (по сравнению с высокотемпературным окислением). Кроме того, использование катализаторов позволяет применять окислители с меньшими габаритами.

Каталитическое окисление характеризуется кратковременностью протекания процесса (иногда достаточно нескольких долей секунды), что позволяет резко сократить габариты реактора. Температура, необходимая для осуществления реакции органических газов и компонентов отходящих газов при прохождении газообразных отходов через слой катализатора, доходит до уровня, который превышает точки самовоспламенения газообразных отходов, и они сгорают под действием кислорода, обычно присутствующего в потоке загрязненного газа. В случае недостатка кислорода его вводят в поток отходящих газов с помощью эжектирования, воздуходувки или вентилятора. По сравнению с термическим окислением каталитическое окисление проходит при более низких температурах, чем термическое окисление, и, соответственно, сопровождается более низкими: требованиями к изоляции, энергопотреблением, включая использование дополнительного топлива, вероятностью возникновения пожара и требуют меньше.

Основным критерием выбора катализатора является его долговечность и активность, о которой судят по количеству продукта, получаемого с единицы объема катализатора, или по объемной скорости каталитического процесса, при которых обеспечивается требуемая степень обезвреживания обрабатываемого газа.

В большинстве случаев в качестве катализаторов используют металлы (платину, палладий и другие благородные металлы) или их соединения (оксиды меди, марганца и т. п.). Катализаторную массу, как правило, выполняют из шаров, колец, пластин или проволоки, свитой в спираль из хрома, никеля, оксида алюминия с нанесенными на их поверхность (сотые доли процента по отношению к массе катализатора) благородными металлами.

Большое влияние на срок службы катализатора оказывают некоторые вещества (например, химически активные вещества), присутствующие в потоке отходящего газа и отравляющие/блокирующие катализаторы. Отравление катализатора посредством блокирования может быть обратимым: так, образование масляных или жировых покрытий на поверхности катализатора снижает его эффективность, но эти покрытия могут сгорать при повышении температуры. Однако в присутствии некоторых химических веществ отравление катализатора может быть необратимым. К таким веществам относятся:

- быстродействующие ингибиторы (например, фосфор, висмут, мышьяк, сурьма, свинец, ртуть), воздействие которых приводит к необратимой потере каталитической активности в зависимости от температуры потока и концентрации таких веществ в потоке;

- ингибиторы замедленного действия (например, железо, олово, кремний), воздействие которых приводит к необратимой потере каталитической активности, но при более высоких концентрациях, чем у быстродействующих ингибиторов;

- обратимые ингибиторы (например, сера, галогены), воздействие которых приводит к образованию обратимого поверхностного покрытия на поверхности катализатора в зависимости от температуры потока и концентрации таких веществ в потоке;

- поверхностные блокировщики (например, твердые органические вещества), образующие обратимый покрывающий слой, блокирующий поверхность катализатора;

- активаторы поверхностный эрозии и блокировщики (например, инертные частицы), образующие покрывающий слой на поверхности катализатора в сочетании с эрозией катализатора в зависимости от размера частиц, свойств гранул и скорости потока отходящих газов.

Различия в способе контактирования потока газа с катализатором позволяют подразделить системы каталитического окисления на две группы: системы с неподвижным слоем и системы с псевдоожиженным слоем.

В системах каталитического окисления с неподвижным слоем можно использовать монолитный катализатор, представляющий собой пористый твердый блок с па-

раллельными непересекающимися каналами, которые выровнены в направлении потока газа. Достоинством монолитного катализатора является минимальное истирание при тепловом расширении (сжатии) во время пуска (останова) и в общем низком падении давления. Также применяют уплотненный слой катализатора, состоящий из частиц, которые поддерживаются в трубе или в неглубоких лотках, через которые проходит газ; по сравнению с монолитным катализатором падение давления достаточно высоко, а частицы катализатора имеют тенденцию к разрушению в результате термического расширения при нагреве (охлаждении) слоя катализатора во время пуска (останова).

Достоинством каталитических окислителей с псевдоожиженным слоем являются очень высокие коэффициенты массопередачи, хотя общее падение давления немного выше, чем в каталитических окислителях с монолитным катализатором. Дополнительным преимуществом является высокая теплопередача псевдоожиженного слоя по сравнению с нормальным коэффициентом теплопередачи газа. Кроме того, такие окислители обладают более высокой толерантностью к твердым частицам в газовом потоке по сравнению с использованием уплотненного слоя катализатора или монолитных катализаторов. Это объясняется постоянным истиранием гранул псевдоожиженного слоя катализатора, которое способствует удалению частиц с внешней поверхности катализаторов на постоянной основе. Основным недостатком является постепенная потеря катализатора за счет истирания.

Значительное влияние на скорость и эффективность каталитического окисления оказывает температура газа: для каждой реакции, протекающей в потоке газа, характерна так называемая минимальная температура начала реакции, ниже которой катализатор не проявляет активности. Эта температура зависит от природы и концентрации улавливаемых вредных (загрязняющих) веществ.

Используют два конструктивных вида каталитических устройств:

- каталитические реакторы, в которых происходит контакт газового потока с твердым катализатором, размещенным в отдельном корпусе;

- термокаталитические реакторы, в которых в общем корпусе размещены контактный узел и подогреватель.

Модельная установка термокаталитического окисления может включать следующие элементы:

- каталитический реактор (основной модуль), который предназначен для очистки выбросов от органических и неорганических соединений (за исключением галоген- и серосодержащих веществ);

- теплообменный модуль (основной модуль), который обеспечивает предварительный подогрев входящего неочищенного газа и охлаждение очищенного горячего газа (рекуперация тепла);

- фильтрационный модуль (дополнительный модуль), который обеспечивает очистку от взвешенных веществ (2902), смолистых веществ (3748));

- сорбционный модуль (дополнительный модуль), который обеспечивает очистку кислых газов, галоген-, серо- и фосфоросодержащих соединений, а также аккумуляцию загрязняющих веществ;

- дополнительные модули, например для подачи мочевины (в случае высокого содержания оксидов азота (301, 304)), управления потоками (смешение воздуха, электрозадвижки), проведения различных видов мониторинга (измерение перепадов давления, температуры, концентраций).

Каталитическое окисление целесообразно применять для очистки небольших объемов отходящих газов, характеризующихся незначительными различиями в типе и концентрации летучих органических соединений, при условии отсутствия веществ, отрицательно воздействующих на катализатор или иных загрязняющих веществ аналогичного действия. При каталитическом окислении также удаляются оксид углерода (337) и (до некоторой степени) сажа (328), хотя удаление последних требует наличия специальных устройств.

Термокаталитические установки для очистки газовых выбросов можно устанавливать в местной вытяжной вентиляционной системе, системах местных отсосов, линиях сбросных газов, системах очистки и рециркуляции воздуха помещений.

2.3.4.6 Ионизация

Ионизация (называемая также прямой, холодной плазмой) представляет собой процесс, при котором входящий поток газа или воздуха вводится в реакционную камеру, где подвергается воздействию очень сильного электрического поля (20–30 кВ), образованного электродами и приводящего к образованию ионов, свободных электронов, радикалов и других высокореактивных частиц. При этом заметного повышения температуры не происходит. Высокореактивные компоненты вызывают разложение и (частичное) окисление загрязняющих веществ, присутствующих в поступающем газе.

Ионизация, как правило, применяется для обработки отходящих газов, содержащих дурнопахнущие летучие органические соединения в низких концентрациях, а также в тех случаях, когда термическое/каталитическое окисление неэффективно. Ионизация применима только для удаления летучих органических соединений в тех случаях, когда

система применяется непосредственно к газовому потоку. В случае введения ионизированного воздушного потока происходит трансформация молекул, образующих запах, и (в меньшей степени) сокращение содержания органических соединений.

Наиболее активными частицами в этом процессе являются радикалы N, O и OH, которые образуются азотом (N_2), кислородом (O_2) и водой (H_2O). Если газовый поток направляется непосредственно в плазменный реактор, он действует как электростатический пылеуловитель со степенью пылеудаления более 90 %.

По сравнению с термическими окислителями ионизация отличается относительно низким энергопотреблением.

Для содержания реактора в чистоте устанавливают систему очистки (самоочистки), которая может происходить за счет вибрации, сжатого воздуха или воды. Для обеспыленных воздушных потоков такая система очистки не требуется.

Основными достоинствами ионизации являются:

- компактность оборудования;

- возможность включения и выключения по желанию (время запуска незначительно);

- относительно простая эксплуатация;

- отсутствие чувствительности к изменениям в потоке газа;

- низкая температура процесса.

В то же время практическое применение ионизации ограничивают следующие основные факторы:

- необходимость принятия мер по электромагнитной изоляции окружающего объема в целях предупреждения воздействия на человека;

- возможность распространения электромагнитного излучения, которое не является значительным, если корпус изготовлен из металлов.

2.3.4.7 Фотоокисление/окисление в ультрафиолетовом свете

Фотоокисление/окисление в ультрафиолетовом свете основывается на прохождении очищаемого газа через реакционную камеру, где он облучается ультрафиолетовым излучением (100–280 Н·м), приводящем к разложению вредных (загрязняющих) веществ, обладающих неприятным запахом.

Разложение с использованием относительно компактных и модульных систем происходит двумя способами:

- прямой фотолиз, при котором соединения (например, ЛОС, NH_3, H_2S и амины) непосредственно разлагаются излучением;

- окисление высокореактивными радикалами кислорода, присутствие которых приводит к окислению компонентов, которые не разлагаются прямым фотолизом и продуктами реакции фотолиза.

В отдельных случаях используют введение катализатора (например, активированного угля) или применяют второй набор ламп с иной длиной волны после первой фазы фотоокисления, чтобы достичь максимально возможной степени удаления. Эта дополнительная фаза также служит для преобразования остаточного озона (326) в кислород.

На отдельных предприятиях для очистки выбросов от бенз(а)пирена (703) используют фотолитическую установку, реализующую метод фотоокисления в ультрафиолетовом свете. Принцип метода заключается в том, что при обработке отходящих газов излучением видимого и ближнего УФ (типа А) диапазонов спектра, происходит многостадийное окисление молекул полиароматических углеводородов (ПАУ) синглетным кислородом, образующимся при фотовозбуждении электронных состояний ПАУ, причем подвергаются полному окислению и продукты первичного окисления ПАУ — хиноны. Высокая скорость окисления (время облучения движущихся по газоходу выбросов составляет несколько секунд) обусловлена тем, что ламповые источники обладают высокой интенсивностью излучения, а также тем, что облучаемые в газоходе выбросы содержат ПАУ, в том числе наиболее токсичные тяжелые ПАУ, либо в паровой фазе, либо на мелкодисперсной пыли, что обеспечивает хороший контакт рабочего излучения с молекулами ПАУ.

Достоинствами фотоокисления/окисления в ультрафиолетовом свете являются:

- малое время запуска;
- возможность эксплуатации при низкой температуре;
- низкое энергопотребление.

2.3.5 Биохимические методы очистки отходящих газов

Биохимические методы газоочистки основаны на способности микроорганизмов преобразовывать различные соединения в менее токсичные компоненты или соединения с меньшим молекулярным весом. Разложение веществ происходит под действием ферментов, которые вырабатываются микроорганизмами под влиянием отдельных соединений или группы веществ, присутствующих в очищаемых газах. Биохимические методы газоочистки целесообразно применять для очистки отходящих газов постоянного состава: при частом изменении состава газа микроорганизмы не успевают адаптироваться к новым веществам и вырабатывают недостаточное количество ферментов

для их разложения, что приводит к слабой разрушающей способности биологической системы по отношению к вредным компонентам газов. Высокая степень газоочистки достигается в том случае, когда скорость биохимического окисления уловленных веществ больше скорости их поступления из газовой фазы.

Биохимическую очистку отходящих газов выполняют в биофильтрах и биоскрубберах.

2.3.5.1 Биофильтры

Во время биологической фильтрации поток отходящих газов проходит через слой фильтра-насадки, где он окисляется микроорганизмами природного происхождения и разлагается на углекислый газ, воду, неорганические соли и биомассу. В качестве насадки можно использовать влажный органический субстрат (например, торф, компост, древесную щепу) или инертный материал (например, глину, активированный уголь, полиуретан). В случае использования искусственных материалов на них предварительно выращивают биологически активную пленку орошением водой или суспензией активного ила. При этом способность активного ила к расщеплению уловленных веществ устанавливают по соотношению полной биохимической потребности в кислороде ($БПК_п$) до начала процессов нитрификации и химической потребности в кислороде (ХПК), которая характеризует окисление вещества до диоксида углерода и воды. При соотношении $БПК_п$:ХПК ≥ 0,5 вещества поддаются биохимическому окислению.

Эффективная работа биофильтров обеспечивается за счет равномерного распределения очищаемого воздуха по всей фильтрующей поверхности, равномерной влажности (20 % — 50 %) и плотности фильтрующего слоя, поддержания оптимальных температур (25 °С — 35 °С) и значения pH 6,5–8,5.

Биологическая фильтрация преимущественно применяется для низких концентраций загрязняющих веществ, легко растворимых в воде. Как правило, биологическую фильтрацию не используют для отходящих газов, содержащих большое количество различных и (или) меняющихся (по составу) загрязняющих веществ. Кроме того, следует учитывать, что при использовании биофильтрации не удаляется метан (410), что связано с чрезмерно высоким необходимым временем пребывания в фильтре обычных размеров.

Большинство биофильтров представляют собой открытые фильтры, которые хотя и являются менее дорогостоящими по сравнению с замкнутыми, но менее эффективны. Кроме того, открытые фильтры не всегда позволяют обеспечить достаточное удаление выбросов и зачастую не обладают технологическими характеристиками для

достижения достаточного сокращения выбросов ЛОС. В связи с этим более предпочтительным является применение замкнутых биофильтров с контролируемыми подачей и оттоком отходящих газов. Замкнутые высокотехнологичные биофильтры можно усовершенствовать с целью сокращения содержания широкого спектра ксенобиотических соединений.

Капельный фильтр с подвижным орошаемым слоем представляет собой вариант технологического подхода, основанный на биологической обработке в реакторе с орошаемым слоем, наполненным 50–150 м^3 синтетических шариков особой формы, в которых и на которых растут колонии микроорганизмов, разлагающих поступающие загрязняющие вещества.

2.3.5.2 Биоскрубберы

Биоскрубберы представляют собой абсорбционные аппараты (абсорберы, скрубберы), в которых орошающей жидкостью (абсорбентом) служит водяная суспензия активного ила (например, со станций биологической обработки сточных вод). Таким образом, биоскруббер сочетает в себе мокрую очистку газа (адсорбцию) и биологическое разложение. Содержащиеся в очищаемых газах вредные вещества улавливаются абсорбентом и расщепляются микроорганизмами активного ила. Поскольку биохимические реакции протекают с относительно невысокой скоростью, то для достижения высокой эффективности работы установки требуется промежуточная емкость, которая может быть либо выполнена в виде отдельного реактора, либо встроена в основание абсорбера.

Конструкция биореактора основана на использовании активированного ила или системы «ил-на-носителе». Водно-иловую смесь возвращают в реактор. Абсорбированные загрязняющие вещества разлагаются в вентилируемых иловых резервуарах.

Башенный биоскруббер проектируют таким образом, чтобы обеспечивалась продолжительность контакта около 1 с в зависимости от загрязняющих веществ.

В зависимости от состава отходящего газа производительность биоскруббера достигает желаемого уровня только после нескольких недель адаптации. Внесение культур, подготовленных в ферментерах, применяется к загрязняющим веществам, содержащим серу (меркаптаны (1716), сероводород (333), диметилсульфид (1707) и т. д.) или хлор (349) (хлорированные метаны или этаны).

Испарение, сопровождающееся минерализацией и дозированным добавлением питательных веществ (добавляемых к орошающей жидкости для обеспечения микроорганизмов недостающими элементами, такими как фосфор, азот или калий) и (или)

нейтрализующих агентов, обычно приводит к увеличению содержания соли в абсорбенте.

В резервуарах для хранения циркуляционных вод иногда может возникать запах, что требует сбора отработанного воздуха и отведения его к станции очистки.

Биологическая обработка в реакторе с орошаемым слоем аналогична биологической промывке, но микроорганизмы фиксируются на опорных элементах. Этот технологический подход позволяет удалять легко биоразлагаемые компоненты (аммиак (303), амины, углеводороды (415), сероводород (333) и др.).

Биологическая промывка применяется при низких концентрациях загрязняющих веществ, легко растворимых в воде.

Биологическая промывка широко используется в химической и нефтехимической промышленности, а также на канализационных очистных сооружениях.

2.3.6 Сочетание и взаимозависимость технологических подходов к обработке отходящих газов и сточных вод

При обработке сточных вод, загрязненных ЛОС и летучими неорганическими соединениями (например, аммиаком (303), сероводородом (333)), при использовании отстойников, открытых буферных емкостей и прочего могут образовываться выбросы (запахи) в атмосферу этих загрязняющих веществ, т. е. может происходить перемещение загрязняющих веществ из водной среды в воздушную (атмосферу). Выбросы в атмосферу могут также образовываться при смешивании потоков вод с различными температурами и при добавлении кислот или щелочей для изменения водородного показателя pH. Таким образом, может потребоваться обработка вновь образовавшегося отходящего газа.

Кроме того, эксплуатация объектов по обработке и очистке отходящих газов, так же как и сточных вод, связана с потреблением энергоресурсов и материалов, причем последний фактор особенно важен в некоторых климатических условиях. Краткий обзор возможного воздействия отходящих газов очистных сооружений на окружающую среду приведен в таблице 4.

Таблица 4 — Возможное воздействие отходящих газов очистных сооружений на окружающую среду

Компоненты окружающей природной среды	Возможные воздействия, выбросы и (или) сбросы
Воздушная среда (атмосфера)	Значительное сокращение выбросов загрязняющих веществ. Замена ЛОС загрязняющими веществами дымовых газов, такими как оксиды углерода (337), галогениды водорода (342, 316), диоксид серы (330), оксиды азота (301, 304), диоксины (3620) в случае термического/каталитического окисления. Выбросы при факельном сжигании
Водная среда	Процессы очистки/абсорбции способствуют переносу загрязняющих веществ из воздушной среды в водную. При некоторых процессах обработки требуются значительные объемы воды (например, при использовании скрубберов, конденсации)
Отходы	Шлам, образующийся при вторичной очистке сточных вод, образующихся при обработке отходящих газов. Вновь образовавшиеся отходы объектов обработки отходящих газов (например, отделенные твердые вещества; сгущенные жидкости, не использованные повторно; отработанные адсорбенты; отработанные катализаторы)
Другое	Энергопотребление. Расход вспомогательных химических веществ (например, аммиака для селективного некаталитического восстановления, щелочных агентов при использовании скрубберов)

Очистка отходящих газов и обработка сточных вод, в дополнение к их собственным воздействиям на окружающую среду, влияют друг на друга следующим образом:

- некоторые подходы к обработке сточных вод приводят к образованию отходящих газов, которые необходимо отводить на объекты обработки отходящих газов, что часто требует сложного проектирования;

- некоторые подходы к обработке отходящих газов приводят к образованию выбросов и (или) сбросов, которые нуждаются в дальнейшей обработке;

- эмиссии (газообразные — на объекты обработки отходящих газов, жидкие — на объекты обработки сточных вод) обычно оказывают воздействие на существующие

мощности по обработке, хотя в большинстве случаев это приводит лишь к небольшому увеличению нагрузки на них. Обратными примерами служат мокрая очистка отходящих газов и отгонка летучих материалов на станциях обработки сточных вод.

2.3.7 Общие подходы к выбору технологий, методов, мер и мероприятий, направленных на сокращение и очистку выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух

Подходы к выбору методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух в зависимости от наличия вредных (загрязняющих) веществ представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 — Технологии обработки отходящих газов в зависимости от наличия вредных (загрязняющих) веществ

Принцип действия	Технология	Вредные (загрязняющие) вещества, подлежащие удалению										
		Сухая пыль	Мокрая пыль	Туманы/аэрозоли	ЛОС	SO_2 (330)	H_2S (333)	NO_x (301, 304)	NH_3 (303)	HCl (316) /HF (342)	Тяжелые металлы	Диоксины (3620)
Гравитационная сепарация	Осадительная камера/ гравитационный сепаратор	♦	♦	+								
	Циклоны	♦	♦									
Промывание	Скрубберы	♦	♦		+	+	+		+	+		
	Скруббер с разбрызгивающим устройством	♦	♦		+	+	+		+	+		
	Скруббер Вентури	♦	♦		+	+	+		+	+		
Фильтрация	Сухой электрофильтр	♦										
	Мокрый электрофильтр	♦	♦									
	Тканевый фильтр	♦										
	Керамический и металлический фильтр	♦				+		+		+		
	Каталитическая фильтрация	♦			+					+		♦

Принцип действия	Технология	Вредные (загрязняющие) вещества, подлежащие удалению										
		Сухая пыль	Мокрая пыль	Туманы/аэрозоли	ЛОС	SO_2 (330)	H_2S (333)	NO_x (301, 304)	NH_3 (303)	HCl (316) /HF (342)	Тяжелые металлы	Диоксины (3620)
	Двухступенчатый фильтр пыли	♦										
	Фильтры абсолютной очистки (HEPA)	♦									♦	
	Высокоэффективный воздушный фильтр (HEAF)			♦								
	Противотуманный фильтр		♦	♦								
Конденсация	Конденсационный аппарат				♦				♦			
	Криогенная конденсация				♦							
Адсорбция	Адсорбция (общая)				♦							♦
	Адсорбция (активированный уголь)				♦		♦				♦	♦
	Адсорбция (цеолиты)				♦				♦			
	Адсорбция (полимеры)				♦							
	Впрыск сухого сорбента					♦				+		
	Впрыск полусухого (или полувлажного) сорбента					♦				+		
	Впрыск влажного сорбента					♦				+		
Абсорбция	Скруббер для мокрых газов	+	+		♦	♦			♦	♦		
	Скруббер для кислых газов	+	+		♦				♦			
	Скруббер для щелочных газов	+	+		♦	♦	♦			♦		
Биотехнологии	Биофильтрация				♦		+		♦			
	Биоскруббер				♦		+		♦			
	Биоорошение				♦		+		♦			
	Биофильтр (биореактор) с подвижным слоем				♦		+					

Принцип действия	Технология	Вредные (загрязняющие) вещества, подлежащие удалению										
		Сухая пыль	Мокрая пыль	Туманы/аэрозоли	ЛОС	SO_2 (330)	H_2S (333)	NO_x (301, 304)	NH_3 (303)	HCl (316) /HF (342)	Тяжелые металлы	Диоксины (3620)
Термическое окисление	Термический окислитель				♦							
	Каталитический окислитель				♦							
	Сжигание на факельных установках				♦							
Холодное окисление	Ионизация				♦							
	Фотоокисление/ ультрафиолетовое окисление				♦		♦		♦			
Химическое восстановление	Селективное некаталитическое восстановление (SNCR)							♦				
	Селективное аналитическое восстановление (SCR)							♦				
	Селективное некаталитическое восстановление (NSCR)				+			♦				
Другие технологии	Мембранная сепарация				♦							
	Восстановление NO_x из выхлопных газов							♦				

«♦» — первичная цель технологии заключается в удалении конкретного специфического вредного (загрязняющего) вещества.

«+» — первичная цель технологии не заключается в удалении конкретного специфического вредного (загрязняющего) вещества, но эти вещества также удаляются при использовании технологии.

Таблица 6 — Подходы к выбору методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух в зависимости от наличия вредных (загрязняющих) веществ

Технологический подход	Твердые загрязняющие вещества	Жидкие загрязняющие вещества	Неорганические взвешенные частицы	Органические взвешенные частицы	Неорганические газообразные или парообразные компоненты	Органические газообразные или парообразные компоненты	Запах (дурнопахнущие вещества)
Технологические подходы к извлечению и удалению летучих органических и неорганических соединений							
Мембранное разделение (ПО)						X	
Конденсация (ПО)					(X)	X	
Криогенная конденсация (ПО, ЗО)					(X)	X	(X)
Адсорбция (ЗО, ТО)					X	X	X
Мокрый скруббер для газоочистки (ЗО)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Мокрый скруббер для газоочистки (щелочной) (ЗО)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Мокрый скруббер для газоочистки (окисление в щелочной среде) (ЗО)	(X)	(X)	(X)	(X)			X
Мокрый скруббер для газоочистки (кислотный) (ЗО)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Удаление летучих органических и неорганических соединений							
Биологическая фильтрация (ЗО)					X	X	X
Биологическая промывка (ЗО)					X	X	X

Технологический подход	Твердые загрязняющие вещества	Жидкие загрязняющие вещества	Неорганические взвешенные частицы	Органические взвешенные частицы	Неорганические газообразные или парообразные компоненты	Органические газообразные или парообразные компоненты	Запах (дурнопахнущие вещества)
Биологическая обработка в реакторе с орошаемым слоем (ЗО)					X	X	X
Капельный фильтр с подвижным орошаемым слоем (ЗО)					X	X	X
Окисление при повышенной температуре (ЗО)				X		X	X
Каталитическое окисление (ЗО)						X	X
Ионизация (ЗО)						X	X
Фотоокисление/окисление в ультрафиолетовом свете (ЗО)						X	X
Извлечение и удаление взвешенных частиц							
Отстойная камера/гравитационный сепаратор (ЗО)	X	X	X	X			
Центробежный сепаратор (ПО)	X	X	X	X			
Электростатический пылеуловитель (ЗО)	X	X	X	X	(X)	(X)	
Мокрый скруббер для удаления пыли (ЗО)	X	X	X	X			
Тканевый фильтр (ЗО)	X		X	X			

Технологический подход	Твердые загрязняющие вещества	Жидкие загрязняющие вещества	Неорганические взвешенные частицы	Органические взвешенные частицы	Неорганические газообразные или парообразные компоненты	Органические газообразные или парообразные компоненты	Запах (дурнопахнущие вещества)
Керамический и металлический фильтр (ЗО)	X		X	X			
Каталитическая фильтрация (ЗО)	X	X	X	X		X	
Двухступенчатый пылевой фильтр (ТО)	X		X	X			
Абсолютный (HEPA) фильтр (ТО)	X		X	X			
Воздушный фильтр тонкой очистки (HEAF) (ТО)		X					
Фильтр-туманоуловитель (ПО, ТО) V.		X			(X)		
Извлечение и удаление неорганических соединений							
Введение сухой щелочи (ЗО)					X		
Введение полусухой щелочи (ЗО)					X		
Введение мокрой извести (ЗО)					X		
Селективное некаталитическое восстановление (ЗО)					X		
Селективное каталитическое восстановление (ЗО)					X	(X)	

Технологический подход	Твердые загрязняющие вещества	Жидкие загрязняющие вещества	Неорганические взвешенные частицы	Органические взвешенные частицы	Неорганические газообразные или парообразные компоненты	Органические газообразные или парообразные компоненты	Запах (дурнопахнущие вещества)
Неизбирательное каталитическое восстановление (ЗО)					X		
Мокрый скруббер для удаления NO_x (ЗО)					X		
Факельное сжигание							
Факельное сжигание (ЗО)						X	X

«ПО» — подход в основном применяется при предварительной обработке.

«X» — основное применение подхода.

«(X)» — дополнительное применение подхода.

«ЗО» — подход используется в качестве завершающего метода обработки.

«ТО» — подход в основном используется в качестве метода тонкой очистки после применения стандартного метода.

Подходы к выбору методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух в зависимости от скорости потока отходящих газов приведены в таблице 7.

Таблица 7 — Подходы к выбору методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух в зависимости от скорости потока отходящих газов

Технологический подход	100 (норм. $м^3$/ч)	1000 (норм. $м^3$/ч)	10 000 (норм. $м^3$/ч)	100 000 (норм. $м^3$/ч)
Технологические подходы к извлечению и удалению летучих органических и неорганических соединений				
Мембранное разделение				
Конденсация	X	X	XX	X
Криогенная конденсация	X	X		

Технологический подход	100 (норм. м^3/ч)	1000 (норм. м^3/ч)	10 000 (норм. м^3/ч)	100 000 (норм. м^3/ч)
Адсорбция	X	XX	XX	X
Мокрый скруббер для газоочистки (вода)	X	X	XX	XX
Мокрый скруббер для газоочистки (щелочь)	X	X	XX	XX
Мокрый скруббер для газоочистки (окисление в щелочной среде)	X	X	XX	X
Мокрый скруббер для газоочистки (кислота)	X	X	XX	XX
Удаление летучих органических и неорганических соединений				
Биологическая фильтрация	X	XX	XX	XX
Биологическая промывка	X	X	X	X
Биологическая обработка в реакторе с орошаемым слоем	X	X	X	X
Капельный фильтр с подвижным орошаемым слоем		X	X	
Окисление при повышенной температуре		X	XX	
Каталитическое окисление		X	XX	
Ионизация	X	X	X	X
Фотоокисление/окисление в ультрафиолетовом свете		X	X	
Извлечение и удаление взвешенных частиц				
Отстойная камера/ гравитационный сепаратор	X	X	XX	XX
Центробежный сепаратор	X	XX	XX	X
Электростатический пылеуловитель (одноступенчатый)			X	X
Мокрый скруббер для удаления пыли		X	XX	XX
Тканевый фильтр	X	X	XX	XX
Керамический фильтр		XX	X	X

Технологический подход	100 (норм. м^3/ч)	1000 (норм. м^3/ч)	10 000 (норм. м^3/ч)	100 000 (норм. м^3/ч)
Металлический фильтр	НИ			
Каталитическая фильтрация	X	X	X	
Двухступенчатый пылевой фильтр		X	X	
Абсолютный (HEPA) фильтр	X	X		
Воздушный фильтр тонкой очистки (HEAF)	XX	XX	X	
Фильтр тумана		X	XX	XX
Извлечение и удаление неорганических соединений				
Введение сухой щелочи			XX	X
Введение полусухой щелочи			X	XX
Введение мокрой извести		X	X	X
Селективное некаталитическое восстановление	X	X	X	X
Селективное каталитическое восстановление		X	XX	XX
Неизбирательное каталитическое восстановление			X	
Мокрый скруббер для удаления NO_x			X	
Факельное сжигание				
Факельное сжигание	X	X	X	X

«X» — технологический подход применяется.

«XX» — технологический подход широко применяется.

«НИ» — дополнительная информация отсутствует.

2.4 Подходы, методы, меры и мероприятия, направленные на очистку выбросов в атмосферный воздух от основных загрязняющих веществ

Настоящий подраздел сформирован на основе анализа анкет, полученных от предприятий, которым были разосланы приглашения для представления информации в настоящий справочник НДТ, а также положений «Руководящего документа по техно-

логиям регулирования выбросов серы, NO_x, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников» (Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния), европейского справочника НДТ «Системы обработки/обращения со сточными водами и отходящими газами в химической промышленности» и 29 отраслевых («вертикальных») европейских справочников НДТ, перечень которых приводится в библиографии.

2.4.1 Очистка от твердых частиц (пыли)

В выбросах практически всех предприятий содержатся твердые частицы (взвешенные вещества (2902), пыли (2909)). Пыли состоят из твердых частиц, диспергированных в газообразной среде в результате механического измельчения твердых тел или под действием аэродинамических сил. По дисперсности пыль разделяют на видимую (частицы свыше 10 мкм), микроскопическую (с размером частиц от 10 до 0,25 мкм) и ультрамикроскопическую (с размером частиц менее 0,25 мкм).

При неполном сгорании различных видов ископаемого топлива, биотоплива и биомассы в состав выбросов пыли входят зола и сажа. Сажа является продуктом неполного сгорания топлива и является наиболее опасным из компонентов пыли, так как содержит в своем составе смолистые вещества, в том числе канцерогенные смолы (1,2,5,6-дибензатрацен (720), бенз(а)пирен (703)и др.), и оказывает крайне неблагоприятное воздействие на атмосферу Земли, поскольку поглощает свет во всем диапазоне длин волн солнечного излучения, снижает отражательную способность снега и льда, остается в атмосфере в течение нескольких дней и недель из-за своих абсорбционных свойств, что значительно способствует глобальному потеплению.

Для уменьшения образования пыли и ее выбросов применяют различные первичные мероприятия, включающие в том числе оптимизацию энерго- и ресурсосбережения, переход на другие виды топлива, предварительную обработку топлива, а также превентивные меры по сокращению выбросов. Для максимального сокращения выбросов пыли возможно проведение комплекса указанных мероприятий после оценки местных условий.

Применение превентивных мер в процессах обращения (погрузка-разгрузка, хранение и пр.) с твердыми веществами, включая топливо, также позволяет значительно сократить выбросы пыли. Мероприятия по сведению к минимуму выбросов пыли из хранилища подразделяют на первичные (например, защита от ветровой эрозии, организация укрытий или предупреждение хранения вне помещения, обеспечение увлажнения при хранении вне помещения) и вторичные (например, распыление, водяные за-

весы и струйное орошение, установка фильтров, например, в бункерах) меры. Свою эффективность показала технология пылеподавления с применением насыщенного пара.

Вторичные мероприятия по предотвращению и сокращению количества пыли в отходящих газах включают технологии доочистки и природоохранные технологии в конце производственного цикла.

В основном используются следующие технологии и оборудование, рассмотренные в 2.3:

- камеры гравитационного осаждения. Используют только для удаления наиболее крупных (>20 мкм) частиц в рамках предварительной очистки;

- циклоны. Минимальный размер частиц, удаляемых циклонами, составляет 5–25 мкм и 5 мкм в мультициклонах. Разработаны циклоны высокой эффективности, удаляющие 60 % — 95 % ТЧ10 и 20 % — 70 % ТЧ2.5; при этом следует учитывать, что за счет значительного падения давления повышаются затраты на энергоснабжение и, следовательно, эксплуатационные расходы. Степень улавливания пыли в значительной степени зависит от размера частиц и увеличивается по мере возрастания нагрузки загрязняющим веществом: для стандартных отдельных циклонов данная величина ориентировочно равна 70 % — 90 % для общего количества взвешенных частиц, 30 % — 90 % для ТЧ10 и 0 % — 40 % для ТЧ2.5. Применение циклонов в качестве установок предварительной очистки для удаления абразивных частиц может увеличить срок эксплуатации другого оборудования для снижения выбросов;

- тканевые фильтры. Рассчитаны на удаление тонкой и тончайшей пыли. Применяется три основных механизма очистки: фильтры с импульсной очисткой, очистка которых выполняется импульсной подачей сжатого воздуха с другой стороны, сотрясательными механизмами и обратным потоком газа. Степень пылеудаления составляет от 99 % до 99,99 % для новых и от 95 % до 99,9 % для старых установок и зависит от скорости фильтрации, характеристик частиц и ткани, а также применяемого механизма очистки. Новые разработки включают добавление активированного угля или извести для выполнения обезвреживания или улавливания высокотоксичных веществ в фильтрате;

- электрофильтры. Современные электрофильтры обеспечивают степень удаления твердых частиц (с минимальным размером <1 мкм) от 99 % до более чем 99,99 % в диапазоне от 0,01 до >100 мкм, электрофильтры старого типа — от 90 % до 99,9 %. Степень удаления наименее низкая для частиц диаметром от 0,1 до 1 мкм. Степень

пылеудаления можно повысить посредством введения кондиционирующих газов, пара и др.;

- мокрые очистители. Степень пылеудаления составляет до 80 % для оросительных колонн (размер извлекаемых частиц должен составлять >10 мкм) и динамических и коллизионных очистителей (минимальный размер удаляемой частицы составляет > 2,5 мкм); до 99 % для скрубберов Вентури (минимальный размер удаляемой частицы составляет >0,5 мкм); золоулавливающие установки типа эмульгатора для станций с гидравлическим золоудалением (за исключением станций, использующих уголь с показателем Апр по $(CaO)_2$ > 190) позволяют достичь степени очистки 99,4 % — 99,8 %;

- технологии окисления, используемые для сокращения выбросов ЛОС, ПАУ и запахов. Целесообразно применять для разрушения других органических веществ, включая сажу. Окисление осуществляется на стадии окисления при сжигании отходящих газов или на установках каталитического окисления. Применение методов окисления позволяет предотвратить поступление в выбросы паров смол и дегтя, а также конденсированных и летучих ПАУ.

При сравнении технологий пылеудаления следует учитывать характеристики пыли и дымового газа, а также другие параметры (содержание пыли, расход, колебания), поскольку они могут повлиять как на общую эффективность пылеудаления, так и на эффективность пылеудаления в зависимости от размера частиц. Скорость пылеудаления также существенно зависит от конструкции пылесборника, включая фильтрующий материал.

При выборе технологии пылеудаления следует учитывать побочные воздействия. Например, основное побочное воздействие уменьшения выбросов пыли включает одновременное уменьшение содержания тяжелых металлов (за исключением ртути), бенз(а)пирена (703) и диоксинов (3620).

В соответствии с требованиями санитарных норм технологические выбросы, а также выбросы после местных отсосов, содержащие пыль, вредные газы, должны подвергаться очистке перед выходом в атмосферу. Применяемые методы очистки выбросов в воздушный бассейн весьма разнообразны и отличаются как по конструкции аппаратов, так и по технологии обезвреживания.

2.4.2 Очистка от серы и ее соединений

Основным соединением серы, приводящим к подкислению природных сред, является оксид серы (330), образующий в атмосфере сульфаты и серную кислоту. Значительную роль в этом процессе играют энергетические установки, работающие на

угольном топливе и мазуте: во время горения сера, входящая в состав топлива, окисляется в оксид серы и вместе с дымовыми газами выбрасывается в атмосферу.

Для сокращения образования оксида серы (330) и его выбросов применяют различные первичные мероприятия, включающие в том числе оптимизацию энерго- и ресурсосбережения (при сжигании топлива), переход на другие виды топлива, предварительную обработку топлива. Для достижения максимально возможного сокращения выбросов оксида серы (330) возможно сочетание указанных мероприятий после оценки местных условий. В то же время использование топлива с минимальным содержанием серы и применение методов предварительной обработки топлива для удаления серы, как правило, сопряжено с экономическими или техническими трудностями. Поэтому в настоящее время основное внимание уделяется вторичным мероприятиям — очистке дымовых газов.

Для очистки дымовых газов от серы и ее соединений применяют рассмотренные в разделе 2 физико-химические методы:

- абсорбцию;
- хемосорбцию;
- адсорбцию;
- каталитическое окисление;
- фотоокисление/окисление в ультрафиолетовом свете.

2.4.2.1 Абсорбционные методы

Очистка от диоксида серы

Для абсорбции можно использовать воду, водные растворы и суспензии солей щелочных и щелочноземельных металлов. Применение воды связано с высокими энергозатратами и водопотреблением (удаление диоксида серы (330) осуществляется при нагревании водного раствора до 100 °С).

В Норвегии используют процесс Flackt-Hydro, в котором морская вода, имеющая слабощелочную реакцию (что повышает растворимость SO_2), используется в качестве поглотителя: сначала газы очищают от твердых частиц в мультициклонах или электрофильтрах, затем охлаждают водой в скруббере Вентури. Абсорбцию SO_2 проводят в полом скруббере, после которого газы нагревают теплом горячих топочных газов, частично отобранных из экономайзера.

Широко применяют известняковые и известковые методы, что объясняется простотой технологической схемы, низкими эксплуатационными затратами, дешевизной и

доступностью сорбента, а также возможностями очистки газов без их предварительного охлаждения и обеспыливания. Для приготовления суспензии используют измельченный известняк с размером частиц 0,1 мм (состав суспензии Т:Ж = 1:10). Наиболее простой схемой является схема с образованием шлама, который после высушивания можно использовать в дорожном строительстве либо после окисления — для производства сульфата кальция (гипса). Также используются схемы газоочистки от SO_2 суспензией известняка с добавлением карбоновой кислоты и сульфата марганца. Применяют процесс, в котором в циркулирующий раствор $Ca(OH)_2$ вводят смесь хлорида кальция и муравьиной кислоты, которые повышают степень использования поглотителя, а также уменьшают образование солей в абсорбере и повышают качество гипса при последующем окислении сульфита.

Дешевым нерекуперативным методом является метод, базирующийся на использовании щелочных сточных вод предприятий; при этом одновременно достигаются высокая степень очистки дымовых газов от SO_2 и нейтрализация щелочных сточных вод.

Основными недостатками известняковых и известковых методов являются зарастание систем отложениями гипса, эрозия и коррозия оборудования, значительный брызгоунос из абсорбера, образование осадков.

В рекуперационных методах очистки с регенерацией хемосорбентов поглотитель регенерируют и повторно используют для очистки, а извлекаемый компонент перерабатывают в товарные серосодержащие продукты (элементную серу, серную кислоту, сжиженный диоксид серы, сульфаты). В зависимости от типа хемосорбентов различают следующие основные методы:

- магнезитовый метод, при котором диоксид серы (330) поглощают оксид-гидрооксидом магния. Метод позволяет очищать горячие газы без предварительного охлаждения, получать серную кислоту — продукт рекуперации, а также отличается дешевизной и доступностью хемосорбента, высокой степенью очистки. К недостаткам метода относят сложность технологической схемы, неполное разложение сульфата магния при обжиге, большие потери оксида магния при регенерации;

- цинковый метод, при котором абсорбентом служит суспензия оксида цинка. Метод позволяет проводить газоочистку при высокой температуре (до 250 °С). Основным недостатком является образование сульфата цинка, подвергать который регенерации экономически нецелесообразно — следует непрерывно выводить его из системы, добавляя в нее эквивалентное количество диоксида цинка;

- абсорбция нелетучими хемосорбентами на основе натрия (сода, гидроксид натрия), обладающими высокой поглотительной способностью. Метод можно применять для улавливания диоксида серы (330) из газов любой концентрации. Диоксид серы (330) перерабатывают в серную кислоту или серу. Также применяют содово-кислотный и содово-окислительный процессы (конечный продукт — сульфат натрия). Применяют сульфит-бисульфитный метод (метод Wollman-Lord), который включает абсорбционное и регенерационное отделение, удаление сульфата и переработку конечных продуктов (выход серы в процессе переработки превышает 90 %);

- двойной щелочной метод, при котором используют растворы солей натрия, калия или аммония с последующей регенерацией отработанных абсорбентов оксидом или карбонатом кальция. Продуктами регенерации являются гипс, сульфит кальция или их смесь. Регенерированный абсорбент возвращают в процесс, а соли кальция удаляют из системы. К достоинствам метода относят высокую эффективность процесса очистки, отсутствие твердой фазы компонентов в абсорбере, отсутствие солей кальция на стадии поглощения SO_2 (что полностью исключает забивку аппаратуры), более низкие (на 15 % — 55 %) капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с известковым и известняковым методами;

- аммиачные методы, в которых поглощение SO_2 производится аммиачной водой или водными растворами сульфит-бисульфита аммония с последующим его выделением. К достоинствам метода относят: высокую эффективность процесса, доступность сорбента, получение продуктов (сульфита и бисульфита аммония). Недостатком метода является его высокая энергоемкость.

Очистка от сероводорода

Окислительные методы очистки газов от сероводорода (333) позволяют его улавливать с помощью различных абсорбентов, в том числе мышьяково-содовый (окситио-мышьяково-натриевая соль); мышьяково-поташный; этаноламины; нормальный метил-2-пирролидон; содовый; поташный; цианамид кальция; раствор соды и сульфата никеля; раствор сульфата калия; аммиачный раствор. К основным хемосорбционным методам относят:

- вакуум-карбонатные методы, при которых сероводород (333) поглощается из газов водным раствором карбоната натрия или калия, после чего раствор регенерируют нагреванием под вакуумом, охлаждают и снова возвращают на абсорбцию. Методы позволяют получать из сероводорода (333) серную кислоту. Вакуум-карбонатный метод является усовершенствованным вариантом «Сиборд-процесса». В результате исполь-

зования вакуума на стадии регенерации сероводород получают в концентрированном виде, удобном для переработки и использования. Энергетические затраты на очистку по этому методу значительны: расход пара на 1 т уловленного сероводорода достигает 20 т. Поглотительная способность 1 л 5 %-ного раствора соды по сероводороду составляет 5 г, а 15 %-ного раствора поташа — 8 г. Эти показатели, а также степень очистки невысоки, поэтому метод применяется только для очистки коксового газа;

- фосфатный процесс, при которых сероводород поглощается из газов растворами, содержащими 40 % — 50 % фосфата калия. Фосфатный метод применяется для очистки газов со значительным содержанием сероводорода (333) и диоксида углерода. В качестве сорбента в нем используют трикальцийфосфат. Основным преимуществом метода является нелетучесть активного компонента раствора и возможность работы при повышенных температурах. При соотношении в исходном газе $H_2S:CO_2 = 1:10$ смесь, выходящая из регенератора, имеет соотношение 1:3. Поэтому фосфатный метод иногда применяют вместо этаноламинового при соотношении $CO_2:H_2S > 4$, если нужно удалить минимальное количество CO_2. Для очистки газов, не содержащих диоксида углерода, обычно используют раствор концентрацией 40 % — 50 % K_3PO_4; в присутствии CO_2, чтобы не допустить осаждения бикарбоната, применяют 35 %-ный раствор. Схема процесса в основном аналогична схеме этаноламиновой очистки. К достоинству процесса относят селективность раствора к сероводороду в присутствии SO_2;

- мышьяково-щелочные методы, которые в зависимости от абсорбента подразделяют на мышьяково-содовый и мышьяково-аммиачный. В конце процесса полученную серу отделяют от раствора, а регенерированный раствор возвращают на абсорбцию. Достоинствами этого метода являются селективность поглощения H_2S в присутствии больших концентраций CO_2 и обеспечение тонкой очистки газов;

- железо-содовый метод, в котором для поглощения сероводорода (333) используют взвесь гидроксидов двух- и трехвалентного железа. Процесс предусматривает применение суспензии гидрата окиси железа в растворе соды, имеющем pH 8,5–9,0.При регенерации до 70 % поглощенного сероводорода переходит в элементную серу, а остальной (в виде NaHS) окисляется до тиосульфата натрия;

- щелочно-гидрохиноновый метод, при котором для поглощения сероводорода используют щелочные растворы гидрохинона. При регенерации растворов выделяются элементная сера и тиосульфат натрия. Метод позволяет очищать газ от начального содержания сероводорода в газе от 0,185 до 0,2 г/м^3;

- абсорбция этаноламинами, при которой для поглощения сероводорода используют растворы моноэтаноламина или триэтаноламина. Как правило, используют 15–20%-ный водный раствор моноэтаноламина, обладающий высокой поглотительной способностью на единицу массы растворителя, большей реакционной способностью и легкой регенерацией.

Очистка от органических соединений серы

В отходящих газах могут содержаться следующие органические соединения серы: сероуглерод (334), углерода сероокись (370), меркаптаны (1716).

При обычной температуре сероуглерод (334) малоактивен, и, соответственно, малоэффективны хемосорбционные методы его извлечения из воздуха. Газы, которые содержат сероуглерод (334) и сероокись углерода (370), подвергают конверсии до H_2S с применением железохромового катализатора при 400 °С — 500 °С или медного при 600 °С. Образующийся H_2S поглощают щелочными растворами. Для очистки газов, которые содержат сероуглерод (334) и сероокись углерода (370), наиболее экономичными признаны абсорбционные методы.

Низшие меркаптаны (1716) хорошо растворяются в щелочах, но при увеличении молекулярной массы их растворимость снижается. При длительном контакте со щелочью (в присутствии кислорода и диоксида углерода) меркаптаны окисляются до дисульфидов и полисульфидов, плохо растворимых в щелочи. Для регенерации сорбента используют насадочные или тарельчатые колонны, в которых осуществляют десорбцию этилмеркаптана отдувкой паром или нагретым воздухом с подогревом раствора до 70 °С — 90 °С.

2.4.2.2 Адсорбционные и хемосорбционные методы

Очистка от диоксида серы

В целях устранения недостатков абсорбционных были разработаны процессы, основанные на введении твердых хемосорбентов (в пылевидной форме) в топки и (или) газоходы теплоэнергетических агрегатов. В качестве хемосорбентов используют известняк, доломит или известь. Увеличение активности хемосорбентов, а также подавление процесса окисления SO_2 в SO_3 достигается посредством введения различных специальных добавок (дешевых неорганических солей, оксихлорида меди, оксида магния и др.).

В качестве агентов для связывания SO_2 можно использовать некоторые оксиды металлов, наиболее распространенными среди которых являются оксиды Al, Bi, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, HF, Mn, Ni, Sn, Th, Ti, V, U, Zr. Одним из успешно апробированных методов является окисно-марганцевый метод (метод фирмы Mitsubishi).

Среди сухих способов адсорбционного улавливания диоксида серы (330) наиболее широко используют в производственных условиях (применительно к газам процессов сжигания твердого и жидкого топлива) углеродные поглотители (в основном активные угли и полукоксы), которые позволяют проводить обработку газов при 110 °С — 150 °С. Учитывая высокую стоимость таких адсорбентов, эти методы могут быть рекомендованы только для обработки относительно небольших объемов отходящих газов в производствах серной кислоты и целлюлозы, на нефтеперерабатывающих предприятиях и в ряде других процессов.

В качестве эффективных агентов улавливания диоксида серы (330) хорошо зарекомендовали себя силикагели, ионообменные смолы (аниониты), кислотостойкие цеолиты, включая природные (в основном клиноптилолит- и морденитсодержащие породы). Способность цеолитов поглощать значительные количества диоксида серы (330) при повышенных температурах и низких концентрациях диоксида серы (330) в газах выгодно отличает их от других промышленных адсорбентов. В то же время влага, присутствующая в обрабатываемых газах, ухудшает поглощение диоксида серы (330) цеолитами.

Большинство сухих методов очистки газа от диоксида серы (330) связано со значительными затратами тепла на регенерацию, а также высокими капитальными затратами в связи с применения дорогостоящих материалов для изготовления адсорбционной аппаратуры, работающей в условиях коррозионных сред при повышенных температурах.

Очистка от сероводорода

Наиболее глубокую очистку газов от сероводорода (333) обеспечивают адсорбционные методы с использованием гидроксида железа, активного угля, цеолитов и других поглотителей.

Активный уголь не только адсорбирует сероводород (333) из газовой среды, но и катализирует реакцию окисления поглощенного сероводорода (333) в адсорбированной фазе кислородом, если он имеется в газе, до элементной серы. Если очистке подвергают газ, не содержащий кислород, его добавляют с таким расчетом, чтобы выходящий газ содержал не более 0,1 % кислорода. Трудность использования активного уг-

ля для решения задачи сероочистки заключается в том, что при улавливании сероводорода (333) углем в присутствии кислорода основная реакция преобразования адсорбата в элементную серу сопровождается побочным сильно экзотермическим процессом образования серной кислоты.

Цеолиты являются эффективным средством сероочистки газов, не содержащих кислород. Кроме высокой адсорбционной способности по сероводороду (333), цеолиты обладают еще одним свойством, имеющим первостепенное значение для производства, — они селективно извлекают сероводород (333) из его смесей с двуокисью углерода. Из цеолитов общего назначения наилучшими адсорбционными и эксплуатационными свойствами обладают цеолиты типа CaA. Цеолиты типа NaA отличаются низкой скоростью поглощения и десорбции сернистых соединений. Цеолит NaX катализирует реакцию окисления сероводорода (333) с образованием элементной серы, дезактивирующей адсорбент. Однако это отрицательное свойство цеолита NaX не исключает возможность его применения для сероочистки газов. Если в природном газе, кроме сероводорода (333), присутствуют сероорганические соединения, например этилмеркаптан (1728), то для сероочистки целесообразно применять именно цеолит NaX.

На практике также находят применение и другие твердофазные поглотители, получаемые на основе оксида цинка, оксидов цинка и меди, а также содержащие цинк и медь отработанные катализаторы процессов низкотемпературной конверсии оксида углерода.

Отработанные поглотители, как правило, не регенерируют.

Очистка от органических соединений серы

Некаталитическая сухая очистка газов от сероорганических соединений включает хемосорбционные и адсорбционные способы. Большинство хемосорбционных способов базируется на использовании сорбентов, изготовляемых из оксидов цинка, меди, железа и некоторых других металлов. Очистку газа проводят при 200 °С — 400 °С. Следует отметить, что эти способы не обеспечивают полную очистку газов от таких загрязняющих веществ, как тиофены и органические сульфиды.

Адсорбционные методы базируются на использовании активных углей и синтетических цеолитов и не требуют нагрева очищаемых газов. Следует отметить, что активные угли, лучше поглощая среди других сероорганических соединений тиофены (2420) и сероуглерод (334), слабо адсорбируют сероокись углерода (370) и дисульфиды.

Синтетические цеолиты (CaA, NaX) обеспечивают тонкую очистку газов от серо-органических соединений. Отличительной особенностью этих адсорбентов является высокая поглотительная способность по тиофенам.

Все указанные способы адсорбционной газоочистки характеризуются возможностью регенерации и многократного использования адсорбентов.

2.4.2.3 Каталитическая очистка

Технология каталитической очистки отходящих газов от диоксида серы (330) базируется на принципе окисления SO_2 в SO_3, используемом в производстве серной кислоты нитрозным (башенным) либо контактным методом.

В первом случае в содержащие диоксид серы (330) и оксиды азота (301, 304) дымовые газы сжигания топлива дополнительно вводят NO_2 (301).

В соответствии со вторым способом дымовые газы, на 99 % освобожденные от летучей золы, при 450 °С подают в реактор, в котором на ванадиевом катализаторе SO_2 окисляют в SO_3 присутствующим в газах кислородом. Конвертированные газы охлаждают до 230 °С, промывают в абсорбере серной кислотой и после улавливания в волокнистом фильтре сернокислотного тумана выбрасывают в атмосферу через дымовую трубу. Продуктом процесса газоочистки является серная кислота средней концентрацией 80 %. В другом варианте этого способа в конвертированные на ванадиевом катализаторе дымовые газы вводят аммиак; образующийся при этом аэрозоль сульфата аммония удаляют из обрабатываемых газов в электрофильтре, направляя обезвреженный газовый поток в дымовую трубу.

В таблице 8 представлены характеристики процессов десульфуризации дымовых газов.

Таблица 8 — Характеристики процессов десульфуризации дымовых газов

	«Мокрая» очистка	«Сухая» очистка	Регенеративный процесс	Установка для производства серной кислоты (двойная абсорбция)
Степень очистки	Уровень десульфуризации — от 95 % до 98 % при соотношении Ca/S от 1,02 до 1,1	Уровень десульфуризации — от 50 % до 80 % в зависимости от соотношения Ca/S и системы (введение материалов в трубопровод или в печь)	Скорость восстановления — 95 % — 98 %	Скорость преобразования — >99 %
Побочные продукты	При определенных условиях может быть получен гипс, пригодный для использования в производстве гипсокартона	Сульфит и сульфат кальция не восстанавливаются		
Ограничения	Возможная проблема образования отложений	Нерентабельна. Большое количество образующихся отходов требуют переработки		Концентрация пыли — <30 мг/норм. $м^3$. Концентрация O_2 в 5 раз выше концентрации SO_2

В некоторых случаях мероприятия по сокращению выбросов серы могут также приводить к уменьшению выбросов оксидов азота (301, 304) и других загрязняющих веществ.

Следует выбирать варианты, в результате которых будут получены пригодные к использованию побочные продукты, а также варианты, позволяющие повысить тепловой КПД и сократить образование отходов. Несмотря на то, что большинство побочных

продуктов (например, сульфат кальция, аммиачная соль, серная кислота или сера), пригодны для повторного использования, следует принимать во внимание рыночные условия и стандарты качества.

В таблице 9 приведены положительные и отрицательные побочные воздействия процессов десульфуризации дымовых газов.

Таблица 9 — Положительные и отрицательные побочные воздействия процессов десульфуризации дымовых газов

Технология сокращения выбросов серы	Положительные побочные воздействия	Отрицательные побочные воздействия
Процесс с использованием сухих очистителей или добавлением сухих веществ	Уменьшение выбросов пыли и тяжелых металлов	Сульфит и сульфат кальция не восстанавливаются. Образуется большое количество отходов
Процесс с использованием мокрых очистителей	Уменьшение выбросов пыли и тяжелых металлов. Возможное улучшение качества побочных продуктов до сульфата кальция	Расход воды. Энергопотребление. Потребление известняка. Образование отходов

2.4.3 Очистка от азота и его соединений

Отходящие газы, содержащие оксиды азота (301, 304), образуются на производствах химической промышленности, в процессах нефтеперегонки, при сжигании топлива. На практике большей частью с отходящими газами выбрасываются NO (304) и NO_2 (301) при их одновременном присутствии.

Обозначение оксидов азота (301, 304) относится к сумме оксида азота (304) и диоксида азота (301), выраженной в виде NO_2 (301). Закись азота (N_2O), являющаяся газом, создающим парниковый эффект, не относится к NO_x. Основным источником образования NO_x является сжигание, при котором в первую очередь образуется оксид азота (II) (304). Оксид азота (II) (304) затем быстро преобразуется в диоксид азота (301).

Выбросы оксидов азота (301, 304) способствуют подкислению за счет образования азотистой кислоты HNO_2 и азотной кислоты HNO_3, заболачиванию, образованию озона (326) в тропосфере и (в особенности NO_2 (301)) к раздражению и повреждению органов дыхания. Оксиды азота (301, 304) могут вступать в реакцию с аммиаком (303),

образуя вторичные высокодисперсные частицы, оказывающие отрицательное воздействие на здоровье людей.

Для сокращения образования оксидов азота (301, 304) и их выбросов применяют различные первичные мероприятия, включающие в том числе оптимизацию энергосбережения (при сжигании топлива), переход на другие виды топлива, предварительную обработку (очистку) топлива. Для достижения максимально возможного сокращения выбросов оксидов азота возможно сочетание указанных мероприятий после оценки местных условий. В то же время использование топлива с минимальным содержанием азота и применение методов предварительной обработки топлива для удаления азота, как правило, сопряжено с экономическими или техническими трудностями. Поэтому в настоящее время основное внимание уделяется вторичным мероприятиям — очистке дымовых газов.

Для очистки дымовых газов от азота и его соединений применяют рассмотренные в разделе 2 физико-химические методы:

- абсорбцию;
- хемосорбцию;
- адсорбцию;
- каталитическое окисление.

2.4.3.1 Абсорбционные методы

На промышленных предприятиях применяют метод гомогенного окисления оксида азота (II) (304) в газовой фазе кислородом; процесс интенсифицируется добавлением кислорода в газовую фазу, однако это связано с большим расходом кислорода, поскольку в реакцию с оксидом азота (II) (304) вступает только 1 %, а остальной кислород выбрасывается в атмосферу. Скорость реакции окисления азота кислородом увеличивается в присутствии катализаторов, наиболее активным среди которых является гопкалит (при температуре 120 °С).

Интенсификация процессов окисления и абсорбции оксидов азота (301, 304) также достигается посредством увеличения скорости окисления оксида азота (II) (304) в жидкой фазе в двух вариантах: окисление кислородом и озоном в жидкой фазе и одновременное окисление и поглощение жидкими окислителями. Скорость растворения газообразных окислителей (озона и кислорода) в жидкой фазе зависит от давления, концентрации компонентов, температуры, величины межфазной поверхности, турбулентности потоков и т. д.

Для абсорбции оксидов азота используют воду, растворы щелочей и селективные сорбенты, кислоты и окислители.

При абсорбции водой основным фактором, определяющим экономику процесса, является расход пероксида водорода.

Применяют процесс газоочистки водой и циркулирующей HNO_3, в котором для интенсификации процесса используют катализатор.

Активность щелочных растворов определяется начальным pH раствора: активность тем выше, чем выше этот показатель.

При абсорбции растворами аммиака (303) образуются соединения с низкой температурой разложения.

Для очистки газов от оксида азота (II) (304) при отсутствии в газовой фазе кислорода могут быть использованы селективные абсорбенты: растворы $FeSO_4$, $FeCl_2$, $Na_2S_2O_3$, $NaHCO_3$. Раствор $FeSO_4$ является наиболее доступным и эффективным поглотителем; в качестве абсорбента могут быть использованы травильные растворы, содержащие $FeSO_4$. Поглотительная способность раствора зависит от концентрации $FeSO_4$ в растворе, температуры и концентрации оксида азота (II) (304) в газе. Присутствие в растворе серной и азотной кислот, солей и органических веществ снижает его поглотительную способность.

Взаимодействие оксидов азота с жидкими сорбентами наиболее эффективно протекает при 20 °С — 40 °С.

Метод одновременной очистки газов от диоксида серы (330) и оксидов азота (301, 304)

Отходящие газы, содержащие диоксид серы (330) и оксиды азота (301, 304), образуются при сжигании сернистого топлива, для очистки которых применяют комплексные методы. Степень очистки в комплексных методах обычно составляет 90 % от диоксида серы (330) и 70 % — 90 % от оксидов азота (301, 304). Одновременную очистку можно проводить щелочными растворами.

В процессе реакций $SO_2 + NO_x$ превращаются в имидодисульфонат и дитионат, которые затем переводят в аммиак, азот, сульфат натрия и гипс. Метод можно применять при очистке газов, образующихся при сжигании высокосернистых топлив.

Для процесса очистки возможно использование натриевых солей в присутствии, например, солей железа. Степень очистки в этом случае составляет 80 % — 90 % от оксидов азота (301, 304) и 90 % от диоксида серы (330). Образующийся сульфат натрия обрабатывают сульфитом кальция и диоксидом серы, получая гипс и регенерируя ионы

натрия. В качестве поглотителя $SO_2 + NO_x$ можно также использовать оксид магния с получением гипса и нитрата кальция.

2.4.3.2 Адсорбционные и хемосорбционные методы

Адсорбционные способы поглощения слабоокисленных нитрозных газов малоэффективны (так же, как и абсорбционные) вследствие значительной инертности оксида азота (II) (304), являющегося несолеобразующим соединением.

В промышленной практике газоочистки использование адсорбентов как агентов — аккумуляторов оксидов азота (301, 304) весьма ограничено.

Эффективными поглотителями являются активные угли, однако при их контакте с NO_x возможен значительный разогрев, который приводит к возгоранию угля и даже взрывам. В то же время активные угли характеризуются низкой механической прочностью и восстановительными свойствами, вызывающими конверсию поглощаемого диоксида азота (301) в слабосорбирующийся оксид азота (II) (304).

Адсорбционная способность силикагелей немного ниже по сравнению с активными углями, но они лишены вышеперечисленных недостатков последних. Относительно небольшой поглотительной способностью по NO_x характеризуются алюмогели, обладающие невысокой стойкостью. Высокая емкость по отношению к оксидам азота (301, 304) и высокая механическая и термическая устойчивость присущи алюмосиликатам.

Достаточно широко применяют процессы адсорбции оксидов азота (301, 304) на молекулярных ситах, в частности на высококремнеземных кислотостойких цеолитах на основе морденита, поглотительная способность которых в активированном состоянии при малых парциальных давлениях оксидов азота (301, 304)на 1–2 порядка выше, чем у силикагелей.

Хемосорбционную газоочистку от оксидов азота (301, 304) можно организовать на основе использования различных твердых веществ, способных вступать в химическое взаимодействие с удаляемыми компонентами.

Например, с целью улавливания оксидов азота (301, 304) из отходящих газон применяют метод адсорбции оксидов азота торфощелочными сорбентами в аппаратах кипящего слоя. Отработанный сорбент представляет собой хорошо хранящееся неслеживающееся торфоазотное удобрение, пригодное для использования на любых почвах и содержащее 8 % — 12 % усвояемого азота и 27 % — 30 % хорошо усвояемых растениями гуминовых кислот, являющихся эффективными стимуляторами их роста (эти кислоты образуются в результате катализируемого оксидами азота (301, 304) про-

цесса окисления органической массы торфа присутствующим в очищаемых газах кислородом). Капитальные и эксплуатационные затраты по этому методу ниже, чем при каталитической очистке, однако недостатком метода является возможность самовозгорания торфа.

По сходной технологии возможно использование бурых углей, фосфатного сырья, лигнина; при этом твердые продукты газоочистки, как и в случае применения торфощелочного сорбента, не подлежат регенерации и могут использоваться как органоминеральные удобрения и промышленные реагенты.

Также в качестве других широкодоступных и дешевых поглотителей оксидов азота (301, 304) можно использовать известняк, известь, сланцевую золу; отработанные сорбенты можно использовать для нейтрализации кислых стоков или направлять в сельское хозяйство в качестве азотсодержащих удобрений.

2.4.3.3 Каталитическая очистка

Для обезвреживания отходящих газов от оксидов азота (301, 304) применяют высокотемпературное каталитическое восстановление, селективное каталитическое восстановление и разложение гетерогенными восстановителями.

Процесс высокотемпературного каталитического восстановления происходит при контактировании нитрозных газов с газами-восстановителями на поверхности катализаторов. В качестве катализаторов используют металлы платиновой группы (палладий, рутений, платина, родий) или более дешевые, но менее эффективные и стабильные в эксплуатации составы, включающие никель, хром, медь, цинк, ванадий, церий и другие элементы. В целях увеличения поверхности контакта катализаторы наносят на пористые или непористые материалы (керамика, оксид алюминия, силикагель, металлические ленты и т. п.) различной формы. Восстановителями являются метан, природный, коксовый или нефтяной газ, оксид углерода, водород или азото-водородная смесь.

Процессы высокотемпературного каталитического восстановления оксидов азота (301, 304) обеспечивают высокую степень их обезвреживания. В то же время они обладают такими недостатками, как значительные расходы газов-восстановителей, необходимость очистки конвертированных газов от образующегося оксида углерода, содержание которого составляет 0,1 % — 0,15 %, возможность использования только низкоконцентрированных газов (до 0,5 % NO_x и до 4 % — 5 % O_2).

Процесс селективного каталитическая восстановления оксидов азота (301, 304) выгодно отличается от высокотемпературного тем, что протекает в основном избирательно: используемый восстановитель (обычно аммиак) реагирует преимущественно с

оксидами азота (301, 304) и почти не взаимодействует с находящимся в нитрозных газах кислородом. Безвредные продукты реакций (азот и вода) являются еще одним выгодным отличием этого метода. Селективное каталитическое восстановление происходит при относительно низких температурах (180 °С — 360 °С) с выделением небольших количеств тепла. Процесс достаточно прост по аппаратурному оформлению. Процессы селективного каталитического восстановления оксидов азота (301, 304) используют и для обработки нитрозных газов, содержащих взвешенные вещества (2902) и диоксид серы (330).

Разложение оксидов азота (301, 304) гетерогенными восстановителями осуществляется при высоких температурах (500 °С — 1300 °С); дефиксация азота и отходящих газах можно проводить на твердых углеродсодержащих материалах, в частности на угле, коксе, графите. В этих процессах углерод выполняет функции как катализатора, так и топлива. Высокие температуры таких процессов отрицательно сказываются на их технико-экономических характеристиках, хотя значительная часть энергетического потенциала обезвреживаемых газов может быть полезно использована.

При разложении оксидов азота (301, 304) гомогенными и гетерогенными восстановителями без катализатора в качестве гомогенных восстановителей используются различные горючие газы и аммиак. На использовании природного газа основан метод термического разложения оксидов азота (301, 304) отходящих газов производства щавелевой кислоты, содержащих 2 % — 3 % NO_x и 10 % — 15 % O_2.

При обработке относительно небольших объемов слабоокисленных отходящих газов метод высокотемпературного разложения оксидов азота (301, 304) гомогенным восстановителем является экономически более выгодным, чем каталитические и щелочные методы: он обеспечивает степень разложения оксидов азота (301, 304) до 92 % — 96 %. Для обработки значительных объемов высокоокисленных отходящих газов с низким содержанием оксидов азота (301, 304) в качестве гомогенного восстановителя можно использовать газообразный аммиак, что позволяет значительно уменьшить температуру процесса разложения.

Значительно более низкие температуры восстановления оксидов азота (301, 304) возможны также при применении вариантов восстановительного метода, основанного на обезвреживании нитрозных газов с помощью карбамида, который используют в виде водных растворов или растворов в азотной, серной, фосфорной кислотах; продуктами этого процесса являются нетоксичные вещества — N_2, CO_2 и H_2O. Карбамид может быть использован в виде порошка или гранул, а также нанесенным на разнооб-

разные пористые носители или сформованным вместе с ними; при этом степень обезвреживания оксидов азота (301, 304) может достигать 85 % — 99 % и более.

В настоящее время в основном используют селективное (некаталитическое и каталитическое) восстановление оксидов азота (301, 304), которое включает нагнетание соединений NH_2-X (с X = H, CN или $CONH_2$) в поток отходящих газов с разложением оксидов азота (301, 304) на азот и воду. Наиболее распространенным восстановителем является 25 %-ный водный раствор аммиака или чистый аммиак. Другие реагенты представляют собой растворы мочевины, цианамида кальция или цианамида.

При селективном каталитическом восстановлении (СКВ) оксиды азота (301, 304) восстанавливаются до N_2 с помощью восстановителя (обычно аммиака), который вводится непосредственно в дымовой газ на катализатор при достаточном количестве кислорода. Преобразование оксидов азота (301, 304) происходит на поверхности катализатора при температуре от 170 °С до 510 °С (наиболее типичен диапазон от 300 °С до 400 °С), минимальная температура дымовых газов зависит от содержания серы в топливе. При слишком низкой температуре дымовых газов образуется бисульфат аммония, блокирующий элементы СКВ. Имеются ограничения по применимости СКВ для дизельных и двухтактных двигателей, которые часто необходимо эксплуатировать с переменной нагрузкой. Блок СКВ не будет функционировать эффективно, если эксплуатационные условия и, следовательно, температура катализатора часто изменяются, выходя за пределы необходимого эффективного диапазона температур. При реализации СКВ стоимость модернизации может быть достаточно высокой вследствие затруднений, связанных с установкой каталитического реактора рядом с котлом. Кроме того, существенными являются следующие затраты: затраты, обусловленные инвестициями, стоимость аммиака, расходы на электроснабжение, расходы, связанные с заменой катализатора, и трудовые затраты.

При селективном некаталитическом восстановлении (СНКВ) оксиды азота (301, 304) восстанавливаются до N_2 с помощью восстановителя (обычно аммиака, мочевины или нашатырного спирта), но, в отличие от СКВ, без катализатора и при более высокой температуре (от 850 °С до 1100 °С).

Другие технологии регулирования выбросов оксидов азота (301, 304) включают, в том числе:

- процесс SO_x-NO_x-Rox-Box, в котором для комплексного удаления SO_x (посредством введения щелочного сорбента), NO_x (посредством введения аммиака и СКВ) и пыли используется каталитический тканевый фильтр. При применении данной техноло-

гии образуются опасные отходы в качестве побочного продукта, а также отмечается достаточно низкая эффективность уменьшения выбросов;

- установка для многоэтапного сжигания с вводом извести, отличающаяся невысокой надежностью и относительно низкой степенью уменьшения выбросов NO_x.

При использовании комплексных установок газификации с комбинированным циклом газификация топлива происходит в условиях восстановления до синтетического газа, после чего происходит очистка синтетического газа и сжигание в воздухе или кислороде. Этот метод позволяет получить очень низкий уровень выбросов оксидов азота (301, 304).

При выборе технологии сокращения выбросов оксидов азота (301, 304) следует учитывать следующие побочные воздействия:

- при реализации первичных мер возможно меньшее энергосбережение, повышенное образование оксида углерода (337) и сажи (328), образование выбросов углеводородов, коррозия оборудования вследствие восстановительной атмосферы, увеличение количества несгоревшего углерода в зольной пыли;

- при реализации сжигания топлива в псевдоожиженном слое одновременно обеспечивается значительное сокращение выбросов диоксида серы (330). Возможным недостатком применения этой технологии может стать повышенное образование N_2O при определенных технологических условиях. Применение образующейся золы следует рассматривать с учетом ее возможной утилизации;

- при использовании селективного каталитического восстановления следует учитывать следующие возможные негативные последствия: проскок аммиака (303) в отработанном газе; содержание аммиака в зольной пыли; образование аммиачных солей в других установках, применяемых далее в технологическом процессе; деактивация катализатора; повышенное преобразование SO_2 в SO_3 (коррозия и засорение). При контролируемой работе установки можно гарантировать качество зольной пыли, а также уменьшить образование аммиачных солей. Деактивированные катализаторы не представляют серьезной проблемы, поскольку срок их годности увеличен и имеются варианты их регенерации. Применение в качестве топлива биомассы и отходов могут снизить срок годности катализатора;

- при использовании селективного некаталитического восстановления: отмечается наличие аммиака (303) в отработанном газе; образование аммиачных солей в других установках, применяемых далее в технологическом процессе; образование N_2O, если, например, в качестве компонента смеси восстановителей используется мочевина; выбросы CO. «Проскок» аммиака (303) при применении этой технологии, как прави-

ло, гораздо больше, чем в случае селективного каталитического восстановления, вследствие требуемой дозировки восстановителя выше стехиометрической (при требуемой высокой температуре часть добавляемого аммиака вступает в реакцию, образуя дополнительные оксиды азота (301, 304)).

Неизбирательное каталитическое восстановление преобразует химические вещества CO (337), NO_x (301, 304) и ЛОС в CO_2, N_2 и (или) H_2O за счет использования катализатора. Несмотря на то, что данный подход был разработан для удаления NO_x (301, 304), неизбирательное каталитическое восстановление также значительно снижает выбросы N_2O. Поскольку несгоревшие летучие органические соединения используются в качестве реагента, данный подход не требует дополнительного внесения реагентов (хотя аммиак и мочевина также иногда используются). Однако отходящие газы не должны содержать более 0,5 % кислорода (при использовании природного газа в качестве восстановителя для NO_x приемлемое содержание кислорода может быть увеличено до 2 %). Изготовленный из платины катализатор нуждается в периодической замене; как правило, обеспечивается срок эксплуатации в 2–3 года. Сфера применения технологического подхода ограничена.

Селективное некаталитическое восстановление и селективное каталитическое восстановление используются для удаления оксидов азота (301, 304), образовавшихся в химической промышленности, а также в топливосжигательных и технологических печах.

Также следует учитывать, что производство аммиака и мочевины для обработки дымовых газов предусматривает дополнительные технологические этапы, для которых требуются энергия и реагенты. Системы хранения аммиака требуют применения соответствующих норм безопасности.

2.4.4 Очистка от оксида углерода

Оксид углерода (337) образуется при неполном сгорании веществ, содержащих углерод, входит в состав газов, выделяющихся в процессах выплавки и переработки черных и цветных металлов, выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, газов, образующихся при взрывных работах, и т. д.

Для очистки газов от оксида углерода (337), являющегося высокотоксичным газом, используют технологии:

- превращения карбоксида в диоксид углерода (380) (реакция водяного газа);
- превращения оксида и диоксида углерода в метан (реакция метанирования).

Процесс метанирования применяют для удаления небольших остаточных количеств оксидов углерода (337) (не более 2 % в сумме) из газов. Он используется особенно часто в тех случаях, когда присутствие метана не ухудшает условий дальнейшей переработки или использования газов. Метанирование применяется как заключительная ступень очистки газа после каталитического превращения оксида углерода (337) в диоксид и улавливания последнего растворами этаноламинов. Остаточное содержание оксида углерода (337) в очищенном газе составляет несколько десятитысячных долей процента. Одновременно происходит удаление свободного кислорода, если он присутствует в газе.

2.4.4.1 Абсорбционные методы

Для очистки газов от углерода оксида (337) используют абсорбцию или промывку газа жидким азотом. Абсорбцию проводят также водно-аммиачными растворами закисных солей ацетата, формиата или карбоната меди.

Поглощение оксида углерода (337) медно-аммиачным раствором. В случае если оксид углерода (337) необходимо удалить практически полностью, применяют его абсорбцию медно-аммиачными растворами. Так, в частности, часто решается проблема очистки водорода, используемого для синтеза аммиака. В этом процессе оксид углерода (337) под высоким давлением поглощается в противоточном абсорбере раствором комплексного медно-аммиачного соединения оксида углерода (337). Чаще других используются растворы формиата, карбоната или ацетата меди. Раствор имеет слабощелочной характер, вследствие чего одновременно поглощается и диоксид углерода (380). Регенерацию раствора проводят нагреванием его паром до температуры 80 °С. Регенерированный раствор направляют в абсорбер, а газы — на переработку. При добавлении к раствору метанола, этанола, этиленгликоля или глицерина увеличивается абсорбционная способность раствора, понижается парциальное давление оксида и диоксида углерода над раствором, что позволяет вести процесс очистки под меньшим давлением.

Метод абсорбции оксида углерода (337) медь-алюминий-хлоридными растворами применяют при наличии в газе кислорода и больших количеств диоксида углерода. Этот процесс базируется на химической абсорбции углерода оксида (337) раствором смешанной соли тетрахлорида меди и алюминия в различных ароматических углеводородах с образованием комплекса с оксидом углерода (337). Целесообразно использовать раствор, содержащий 20 % — 50 % $CuAlCl_4$ и 80 % — 50 % толуола.

Метод промывки жидким азотом представляет собой физическую абсорбцию, в процессе которой наряду с оксидом углерода (337) одновременно поглощаются и другие компоненты газовой смеси. Например, процесс газоочистки, применяемый в азотной промышленности, состоит из трех стадий: предварительного охлаждения и сушки исходного газа; глубокого охлаждения газа и частичной конденсации компонентов; отмывки газов от оксида углерода (337), кислорода, метана (410) и др. Абсорбцию оксида углерода (337) обычно ведут в колоннах тарельчатого типа.

2.4.4.2 Каталитическая очистка

Каталитическое окисление является наиболее рациональным методом обезвреживания отходящих газов. При этом следует учитывать, что в зависимости от условий конкретного производства в газах могут содержаться (наряду с оксидом углерода (337)) другие токсичные компоненты: диоксид серы (330), оксиды азота (301, 304), пары различных углеводородов; в них также обычно присутствуют диоксид углерода (380), кислород, азот, пары воды, механические примеси в виде различных пылей, некоторые из которых могут быть ядами для катализаторов.

Для окисления оксида углерода (337) используют марганцевые, медно-хромовые и содержащие металлы платиновой группы катализаторы. В зависимости от состава отходящих газов применяют различные технологические схемы очистки.

Углерода оксид (337) является основным токсичным компонентом отходящих газов агломерационных фабрик на предприятиях черной металлургии. Катализаторы, используемые для обезвреживания таких газов, должны обеспечивать при температуре 220 °С — 240 °С степень конверсии оксида углерода (337) не менее 70 % в условиях больших объемных скоростей запыленных потоков, а также обладать устойчивостью к присутствующим в составе газов каталитическим ядам. Повышенной устойчивостью к катализаторным ядам характеризуются катализаторы, содержащие палладий и платину. Применение этих кактализаторов позволяет осуществлять процессы эффективного обезвреживания аглогазов при значительно более высоких объемных скоростях обрабатываемых газовых потоков без изменения активности катализаторов в течение длительного времени (6–12 мес.). Более высокую степень конверсии содержащегося в аглогазах оксида углерода (337) обеспечивает катализатор, содержащий 0,3 % платины, нанесенной на гранулированный оксид алюминия: он сохраняет первоначальную активность в течение 8000 ч при степени конверсии оксида углерода (337) выше 70 % в условиях обезвреживания аглогазов при температуре 225 °С и объемной скорости потока 100 тыс. $ч^{-1}$.

2.4.5 Очистка от диоксида углерода

Диоксид углерода, являющийся относительно малотоксичным газом, относится к парниковым газам.

Одним из распространенных методов улавливания диоксида углерода из отходящих газов является абсорбция водой.

Основные преимущества водной абсорбции:

- простота конструкции установки, отсутствие теплообменников и кипятильников;

- отсутствие расхода тепла;

- дешевизна растворителя;

- отсутствие паров дорогого или токсичного растворителя, переходящего в газовую фазу.

Основные недостатки процесса водной абсорбции:

- чрезмерно большие потери газа при высоком давлении вследствие значительного повышения его растворимости;

- недостаточно высокая эффективность поглотителя по CO_2 — максимальная поглотительная способность воды 8 кг CO_2 на 100 кг растворителя;

- значительный расход в связи с этим энергии на перекачку раствора;

- недостаточная чистота выделяющейся CO_2.

Более эффективным методом удаления CO_2 является поглощение растворами этаноламинов. В качестве поглотителя могут быть применены моно-, ди- и триэтаноламины (МЭА, ДЭА, ТЭА). Наиболее распространено применение МЭА, отличающегося дешевизной и обладающего высокой реакционной способностью, стабильностью, легкой регенерируемостью. Однако следует учитывать, что МЭА вступает в необратимую реакцию с CO, обычным газом нефтепереработки, а также относительно высокое давление паров, что требует дополнительной операции — водной промывки для поглощения паров. При очистке газов под атмосферным давлением раствором МЭА содержание H_2S можно понизить до 20 мг/м^3, при избыточном давлении можно получить еще более тонкую очистку.

Очистка газа холодным метанолом (процесс «ректизол»). Хорошими поглотителями диоксида углерода являются метанол и ряд других органических жидкостей. При понижении температуры абсорбента и повышении давления в системе поглотительная способность резко увеличивается. На этом свойстве основан процесс «ректизол». Избирательность метанола в отношении смеси двуокись углерода — водород в 7 раз выше избирательности воды. Вследствие этого потери водорода в процессе его очист-

ки метанолом значительно ниже, чем при водной очистке. Не менее эффективно метанолом поглощаются сероводород (333) и сероорганические соединения, включая углерода сероокись (370).

Процесс «ректизол» отличается высокой экономичностью, его основной недостаток заключается в относительной громоздкости аппаратуры. Процесс наиболее целесообразно применять при очистке газа с большим содержанием примесей, например коксового, а также в тех случаях, когда газ в конечном итоге должен подвергаться глубокому охлаждению.

Очистка газов цеолитами, являющимися эффективным поглотителем диоксида углерода из различных промышленных газов. Примером удачного применения цеолитов для одновременного удаления паров воды и диоксида углерода из газа является приготовление экзотермической контролируемой атмосферы (защитного инертного газа в металлургических процессах), получаемой при сгорании природного газа в воздухе. В результате сжигания метана получают азотоводородную смесь, насыщенную парами воды и содержащую до 12 % CO_2. Удаление примесей производят в установке с адсорберами, заполненными цеолитами. Обычно в этом процессе используют цеолиты CaA, которые, наряду с высокими равновесными и кинетическими показателями, сохраняют свою стабильность при многоцикловой эксплуатации и в слабокислой среде. Другим процессом, получившим широкое распространение в промышленности, является подготовка воздуха к низкотемпературному разделению, т. е. осушка с одновременным удалением микропримеси (0,03 %) диоксида углерода. Очистку проводят при давлении, соответствующему давлению в установках низкотемпературного разделения и достигающему 20 МПа (200 кгс/см^2).

2.4.6 Очистка от летучих органических соединений

Понятие ЛОС, если не указано иное, объединяет все органические соединения антропогенной природы, за исключением метана, которые могут образовывать фотохимические окислители при реакции с оксидами азота (301, 304) под воздействием солнечного света.

ЛОС способствуют образованию окислителей, включая тропосферный озон, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду и здоровье людей.

Для сокращения образования выбросов ЛОС применяют различные первичные мероприятия, включающие в том числе замену материалов, содержащих ЛОС, например посредством использования растворителей с малым содержанием органических компонентов или применения материалов и процессов, не требующих применения ор-

ганических растворителей (водорастворимые краски, обезжириватели на водной основе и пр.), и (или) модификации технологии; повторное использование и (или) восстановление ЛОС за счет использования технологий регулирования, таких как конденсация, адсорбция, абсорбция и мембранные процессы (на этапе предварительной обработки). Еще одним вариантом является использование тепла (регенерация энергии) от ЛОС.

В то же время проведение первичных мероприятий, как правило, сопряжено с экономическими или техническими трудностями. Поэтому в настоящее время основное внимание уделяется вторичным мероприятиям — очистке отходящих газов от ЛОС.

Для очистки отходящих газов от ЛОС применяют технологии, основанные на разрушении ЛОС, имеющихся в отходящих газах, а также технологии, позволяющие осуществить восстановление ЛОС после специальной обработки для повторного использования.

2.4.6.1 Технологии, основанные на разрушении ЛОС

Технологии, основанные на разрушении ЛОС, имеющихся в отходящих газах, включают:

- рекуперативное термическое окисление;
- рекуперативное каталитическое окисление;
- биологическую деструкцию.

При рекуперативном или восстановительном термическом окислении происходит разрушение ЛОС при высокой температуре, которая зависит от типа используемой системы регенерации энергии. Восстановительная установка термического окисления состоит из двух или трех керамических теплообменников. Отработанные газы, содержащие ЛОС, проходят через первый керамический теплообменник, где происходит их подогрев. Затем они поступают в камеру сгорания, где с помощью горелок температура поддерживается в пределах от 800 °С до 900 °С. Перед выбросом в атмосферу газы выходят через третий керамический обменник, передавая свою тепловую энергию для повторного использования при предварительном нагреве в следующем цикле. Функция теплообменника — нагрев или охлаждение — периодически меняется. При этом можно получить степень использования тепла до 95 %. Восстановительные установки термического окисления пригодны для использования в случае большого расхода отработанного газа, могут быть автотермальными при концентрациях ЛОС от 2 до 3 г/норм. м^3. При этом можно получить выходную концентрацию ЛОС меньше 20 мг/норм. м^3. На выходе в значительном количестве присутствует метан (410).

При рекуперативном или восстановительном каталитическом окислении использование катализатора позволяет разрушать ЛОС при более низкой температуре, чем требуется для термического окисления. В качестве катализаторов используются либо благородные металлы (платина, палладий или родий), либо оксиды металлов (Cr, Fe, Mo, Mn, Co, Cu, Ni). Принцип теплообмена аналогичен принципу, используемому при термическом окислении. Температуры окисления находятся в диапазоне от 200 °C до 500 °C в зависимости от типа используемого катализатора и теплообменника. Рекуперативная каталитическая установка окисления может быть автотермальной при концентрациях в пределах от 3 до 4 г/норм. м^3. Восстановительная каталитическая установка окисления может быть автотермальной при концентрациях в пределах от 1 до 2 г/норм. м^3. Срок годности катализаторов на базе оксидов металлов составляет примерно 12 000 ч, на базе благородных металлов — от 15 000 до 25 000 ч. Катализаторы чувствительны к ядовитым веществам; при воздействии некоторых из них может произойти необратимая деактивация катализаторов. Можно получить выходную концентрацию ЛОС меньше 20 мг/норм. м^3. На выходе в значительном количестве присутствует метан (410).

Биологическую деструкцию используют преимущественно при низких концентрациях ЛОС. На выходе концентрация ЛОС составляет от 100 до 150 мг/норм. м^3.

Деструктивной каталитической очистке в основном подвергают токсичные пары ЛОС. Катализаторы для таких процессов изготавливают на основе меди, хрома, кобальта, марганца, никеля, платины, палладия и других металлов. В некоторых случаях используют природные материалы, например бокситы, цеолиты.

Применяемые катализаторы условно подразделяют на:

- цельнометаллические, представляющие собой металлы платиновой группы или неблагородные металлы, нанесенные на ленты, сетки, спирали или листы из нержавеющей стали;

- смешанные, включающие металлы платиновой группы и оксиды неблагородных металлов, нанесенные на оксид алюминия, нержавеющую сталь или другие металлы;

- керамические, состоящие из металлов платиновой группы или оксидов неблагородных металлов, нанесенных на керамическую основу в виде сот или решеток;

- насыпные, приготовляемые в виде гранул или таблеток различной формы из оксида алюминия с нанесенными на него металлами платиновой группы или оксидами неблагородных металлов, а также в виде зерен оксидов неблагородных металлов.

Некоторые преимущества перед другими типами катализаторов, как правило, имеют катализаторы, нанесенные на металлические носители: они отличаются боль-

шими значениями термостабильности и периода эксплуатации около 1 года и более, высокими износостойкостью и прочностными характеристиками, развитой поверхностью и пониженной насыпной плотностью, их регенерация не представляет существенных трудностей.

Более дешевые в изготовлении катализаторы на основе из керамики также характеризуются низким гидравлическим сопротивлением, обладают, как правило, меньшей насыпной плотностью, сохраняют активность при обезвреживании запыленных потоков; но эти катализаторы менее термостабильными по сравнению с цельнометаллическими катализаторами. Наиболее активными катализаторами (на основе из керамики) являются те, которые включают платину и палладий.

Используемые установки каталитической очистки газовых выбросов от паров ЛОС различаются конструкцией контактных аппаратов, способами повышения до необходимого уровня температуры поступающих в них газовых потоков, используемыми катализаторами, приемами рекуперации тепла, наличием рецикла обезвреженных газов. Наиболее простыми по технологической компоновке являются схемы каталитического обезвреживания с незамкнутым по соответствующим газовым потокам циклами.

2.4.6.2 Технологии, позволяющие осуществить восстановление ЛОС после специальной обработки для повторного использования

Технологии, позволяющие осуществить восстановление ЛОС после специальной обработки для повторного использования, включают:

- адсорбцию активированным углем или цеолитами;

- абсорбцию в переработанных очистительных жидкостях (вода, тяжелое топливо);

- конденсацию и низкотемпературную конденсацию;

- мембранную сепарацию, связанную с другими процессами, такими как низкотемпературная конденсация и адсорбция.

Для рекуперации ЛОС наибольшее распространение получили методы адсорбции с использованием любых мелкопористых адсорбентов: активных углей, силикагелей, алюмогелей, цеолитов, пористых стекол и пр. Наиболее предпочтительным вариантом является использование активных углей (гидрофобных адсорбентов): при относительной влажности очищаемых парогазовых (паровоздушных) потоков до 50 % влага практически не влияет на сорбируемость паров ЛОС. Рентабельность адсорбционных установок с использованием активных углей зависит от концентрации в очищаемых газах паров ЛОС.

Поглощение паров ЛОС можно проводить в стационарных (неподвижных), кипящих и плотных движущихся слоях поглотителя, на практике наибольшее распространение получили рекуперационные установки со стационарным слоем адсорбента, который размещают в вертикальных, горизонтальных или кольцевых адсорберах. Вертикальные адсорберы, как правило, используют при небольших потоках подлежащих очистке паровоздушных (парогазовых) смесей ЛОС, а горизонтальные и кольцевые адсорберы применяют для обработки паровоздушных (парогазовых) смесей ЛОС при высоких (десятки и сотни тысяч кубометров в час) скоростях потоков.

Рекуперационные установки с адсорберами периодического действия (со стационарным слоем адсорбента) работают по трем технологическим циклам: четырех-, трех- и двухфазному. Четырехфазный цикл включает последовательно фазы адсорбции, десорбции, сушки и охлаждения. В трехфазном цикле исключается одна из последних фаз четырехфазного цикла, например процесс охлаждения адсорбента как самостоятельная фаза: слой поглотителя охлаждают при адсорбции отработанным (очищенным от паров растворителя) воздухом; может исключаться и фаза сушки. Двухфазный цикл включает две операции: адсорбцию и десорбцию; при этом процесс адсорбции совмещают с сушкой и охлаждением поглотителя.

Практика показывает, что при относительно высоких концентрациях паров ЛОС в паровоздушных смесях (до 50 % нижнего концентрационного предела взрываемости) рационально использовать четырехфазный цикл, для средних и малых концентраций (2–3 г/м^3) целесообразнее применять трехфазный цикл (с исключением фазы охлаждения). Двухфазный цикл с адсорбцией паров из паровоздушной смеси при одинаковой температуре (до 35 °С) можно использовать для рекуперации несмешивающихся с водой растворителей.

В целях обеспечения непрерывности рекуперационного процесса установка улавливания паров ЛОС должна включать как минимум два адсорбера периодического действия (обычно их число составляет от трех до шести и более).

Развитие адсорбционного метода рекуперации паров ЛОС в мировой практике происходит преимущественно по двум направлениям: аппаратурное оформление рекуперационных установок, углеродные поглотители паров ЛОС.

В последние годы широко используются непрерывно-действующие установки с движущимся плотным и псевдоожиженным слоем адсорбента. К достоинствам таких установок относят достаточно высокие скорости обрабатываемых потоков, что обусловливает компактность оборудования; высокий коэффициент использования адсорбентов; отсутствие энергозатрат на периодическое нагревание и охлаждение одного и

того же аппарата; возможность сравнительно простой и полной автоматизации; простоту обслуживания. Конструктивные особенности адсорбционной аппаратуры для обработки паров ЛОС могут различаться. Например, адсорбер можно изготавливать в виде вращающегося барабана, снабженного перегородками, разделяющими его на секции; эти секции, заполненные активным углем, при вращении барабана последовательно проходят зоны адсорбции и регенерации, обеспечивая непрерывность процесса. В других адсорберах гранулированный активный уголь используют в виде тонкого слоя, размещаемого между двумя полотнами эластичного гибкого и пористого материала (например, полиуретана); непрерывность процесса очистки обеспечивает поперечное по отношению к газовому потоку перемещение «ленты-сэндвича».

В качестве углеродных поглотителей паров ЛОС используют высокоактивные и износостойкие гранулированные активные угли, различные тканые и нетканые материалы на основе углеродных активных волокон, например установки с фильтрами, основу которых составляет активное угольное волокно, получаемое на базе целлюлозных волокон. Активные углеродные волокна имеют ряд преимуществ по сравнению с гранулированными активными углями: более высокая степень рекуперации растворителей (обычно выше 99 %); существенное снижение потерь ЛОС, связанных с термическим разложением последних в присутствии углеродных адсорбентов, и, как следствие, повышение количества рекуперата; возможность применения для рекуперации полимеризующихся мономеров и растворителей с высокой температурой кипения; пониженная пожаро- и взрывоопасность; компактность адсорбционной аппаратуры даже с неподвижным слоем активных углеродных волокон.

В процессе адсорбции с использованием активированного угля или цеолитов ЛОС физически привязаны к поверхности среды, в качестве которой может использоваться активированный уголь или цеолиты. Адсорбционная способность активированного угля или цеолитов ограничена, и, следовательно, их необходимо реактивировать для восстановления их первоначальной способности адсорбировать и восстанавливать ЛОС. В большинстве случаев используют адсорбционные устройства с 2 или 3 неподвижными слоями. Один слой находится в фазе адсорбции, а второй — десорбции. Десорбция проходит при высокой температуре с применением пара или инертного газа. Температура адсорбции должна быть менее 40 °С, поскольку эффективность адсорбции увеличивается при низкой температуре. ЛОС восстанавливают после специальной обработки, предусматривающей конденсацию, сепарацию и дистилляцию при наличии нескольких ЛОС. Эффективность снижения выбросов ЛОС зависит от темпе-

ратуры адсорбции, типа и количества извлекаемых ЛОС, периодичности десорбции и др. При этом можно получить выходную концентрацию ЛОС от 50 до 100 мг/норм. м^3.

С целью достижения более глубокой очистки обрабатываемых потоков от паров ЛОС используют комбинированные методы, сочетающие различные процессы. Разновидности комбинированного метода улавливания паров ЛОС многообразны. Так, в соответствии с одним из его вариантов улавливание проводят компримированием паровоздушной смеси ЛОС до небольшого давления с последующим ее пропусканием вначале через абсорбер, орошаемый растворителем, пары которого улавливают (при этом из паровоздушной смеси поглощается большая часть рекуперируемого растворителя), а затем через абсорбер, в котором в качестве поглотителя остаточного количества паров используют тяжелые углеводороды. В соответствии с еще одним из вариантов для удаления паров ЛОС из их смесей с воздухом или газами поток паровоздушной (парогазовой) смеси контактируют с водной суспензией, получаемой введением в водный раствор до 25 % порошкового активного угля с размером зерен до 100 мкм.

При конденсации ЛОС охлаждают ниже температуры конденсации. В качестве хладагентов используют холодную и охлажденную воду, охладители и жидкий азот. Можно применять различное оборудование для теплообмена. При этом можно получить выходную концентрацию ЛОС от 100 до 150 мг/норм. м^3. Достигаемая степень очистки зависит от правильного выбора размеров установки, периодичности и порогового значения десорбции и др.

При низкотемпературной конденсации (температура менее −160 °С) используют жидкий азот. Как правило, конденсация происходит при использовании жидкого азота в качестве охладителя при прямом процессе теплообмена. Конденсат ЛОС в межтрубной зоне теплообменника затем направляется в сборный резервуар, из которого его можно повторно использовать, извлекать, восстанавливать для повторного использования или для утилизации. Низкотемпературную конденсацию целесообразно использовать при малом расходе отходящего газа и (или) высокой концентрации ЛОС. При этом можно получить выходную концентрацию ЛОС от 50 до 100 мг/норм. м^3. Достигаемая степень очистки зависит от правильного выбора размеров установки, летучести растворителей и др.

Мембранная сепарация позволяет достичь концентрирования ЛОС за счет использования органических (ЛОС-проницаемых) избирательных мембран. Воздух и ЛОС проникают через мембрану со скоростью, определяемой их относительной проницаемостью и разностью давлений на мембране. Мембраны, как правило, от 10 до 100 раз более проницаемы для ЛОС по сравнению с воздухом, что зависит от конкретных ха-

рактеристик ЛОС. В зависимости от конструкции системы концентрацию ЛОС на выходе мембраны можно увеличить от пяти до пятидесяти раз по сравнению с концентрацией потока на входе мембраны. Затем потоки концентрированного газа могут сжиматься и конденсироваться с использованием обычной технологии конденсации. Мембранную сепарацию не используют автономно, после нее необходимо использование устройства очистки газа.

Выбор технологии следует осуществлять в зависимости от конкретной ситуации. Наиболее значимые параметры основных мероприятий по очистке от ЛОС приведены в таблице 10. Общая эффективность мер на предприятиях, где используются растворители, зависит от степени захвата для потоков отходящего газа с содержанием ЛОС; в случае неорганизованных выбросов захват является наиболее существенным фактором, влияющим на общий КПД системы.

Таблица 10 — Наиболее значимые параметры основных мероприятий по очистке от ЛОС

	Диапазоны концентрации	Расход отходящего газа	Автотермальный порог	Характеристики ЛОС (C eq) NO_x[1)] CO	Ограничения при использовании
Термическое рекуперативное окисление	Применимо для высоких концентраций от 5 до 20 г/норм. м^3	От 1000 до 30 000 норм. м^3/ч	От 8 до 10 г/норм. м^3	< 20 мг/норм. м^3 < 100 мг/норм. м^3 < 100 мг/норм. м^3	Низкая концентрация;присутствие галогенизированных органических соединений;энергопотребление в условиях, отличных от автотермальных

[1)] Концентрации, полученные для окислителей, используемых в процессах для сокращения выбросов ЛОС из растворителей.

	Диапазоны концентрации	Расход отходящего газа	Автотермальный порог	Характеристики ЛОС (C eq) NO_x[1)] CO	Ограничения при использовании
Термическое восстановительное окисление	Применимо для низких концентраций от 2 до 10 г/норм. м^3	От 10 000 до 200 000 норм. м^3/ч	От 2 до 3 г/норм. м^3	< 20 мг/норм. м^3 < 50 мг/норм. м^3 < 50 мг/норм. м^3	Наличие галогенизированных органических соединений;наличие твердых частиц
Каталитическое рекуперативное окисление	Применимо для низких концентраций от 2 до 10 г/норм. м^3	От 1000 до 30 000 норм. м^3/ч	От 3 до 4 г/норм. м^3	< 20 мг/норм. м^3 < 50 мг/норм. м^3 < 50 мг/норм. м^3	Наличие галогенизированных органических соединений;наличие каталитических [контактных] ядов;наличие твердых частиц;риск высокой концентрации
Каталитическое восстановительное окисление	Применимо для очень низких концентраций с <5 г/норм. м^3	От 10 000 до 100 000 норм. м^3/ч	От 1 до 2 г/норм. м^3	< 20 мг/норм. м^3 < 50 мг/норм. м^3 < 50 мг/норм. м^3	Наличие галогенизированных органических соединений;наличие каталитических [контактных] ядов;наличие твердых частиц;риск высокой концентрации

	Диапазоны концентрации	Расход отходящего газа	Автотермальный порог	Характеристики ЛОС (C eq) NO_x[1)] CO	Ограничения при использовании
Биологическая деструкция	Применимо для очень низких концентраций C <1–2 г./норм. м^3	От 1000 до 100 000 норм. м^3/ч		100–150 мг/норм. м^3	Небиоразлагаемые лос; температура отходящего газа, подлежащего обработке;непостоянный выброс лос неметанового ряда.
Адсорбция с применением активированного угля	C <15 г/норм. м^3	От 1000 до 100 000 норм. м^3/ч		От 50 до 100 мг/норм. м^3	Количество (определенное число) лос; наличие твердых частиц;наличие полимеризующихся соединений;обращение с восстановленными продуктами
Абсорбция в тяжелом топливе	C <10–15 г/норм. м^3	От 1000 до 100 000 норм. м^3/ч		От 50 до 100 мг/норм. м^3	Количество (определенное число) лос; способность к абсорбции лос; обращение с восстановленными продуктами

	Диапазоны концентрации	Расход отходящего газа	Автотермальный порог	Характеристики ЛОС (C eq) NO_x[1)] CO	Ограничения при использовании
Низкотемпературная конденсация	C <10 г/норм. м^3	От 1000 до 5000 норм. м^3/ч		От 50 до 100 мг/норм. м^3	Количество (определенное число) лос; высоколетучие соединения;влажность;обращение с восстановленными продуктами

В таблице 11 приводятся данные о побочных воздействиях некоторых из вышеописанных технологий.

Таблица 11 — Данные о побочных воздействиях некоторых из технологий очистки от ЛОС

Технология сокращения выбросов ЛОС	Положительные побочные воздействия	Отрицательные побочные воздействия
Окисление	Возможно сопутствующее устранение запахов	Высокое энергопотребление и выбросы парниковых газов в условиях, отличных от автотермальных
Адсорбция	Возможно сопутствующее устранение запахов	Возможное увеличение энергопотребления для выработки пара
Низкотемпературная конденсация	Возможно сопутствующее устранение запахов	Потребление энергии для производства жидкого азота

2.4.7 Очистка от галогенов и их соединений

2.4.7.1 Очистка газов от фторсодержащих соединений

Основными источниками загрязнения атмосферы соединениями фтора являются крупные производства фосфорных удобрений, безводного фтористого водорода, пла-

виковой кислоты и фтористых солей, фторорганических соединений и металлического алюминия, керамических изделий, а также теплоэлектростанции, работающие на буром и каменном угле. Около 90 % эмиссии соединений фтора в атмосферу приходится на дымовые газы. Содержание фтора в природных фосфатах достигает 3 %. При их переработке в фосфорсодержащие удобрения около половины связанного фтора выделяется в газовую фазу в виде HF, SiF_4 и тумана H_2SiF_6. В производстве алюминия в газах, поступающих из ванн электролиза, содержится в среднем 105 г/м^3 фтористого водорода и 85 г/м^3 фторидов.

Способы очистки отходящих газов от соединений фтора условно могут быть разделены на две группы: «сухие» и «мокрые». К «сухим» способам относятся: адсорбционные и хемосорбционные, к «мокрым» — абсорбционные с использованием воды, водных растворов щелочей, солей и некоторых суспензий.

«Сухие» способы очистки. В качестве «сухих» хемосорбентов для поглощения фтористого водорода применяют: химический поглотитель известковый, фторид натрия, активированную окись алюминия, известняк, нефелиновый сиенит. Четырехфтористый кремний поглощают бифторидом натрия.

Очистку фторсодержащих газов путем абсорбции водой проводят в промышленных аппаратах различных типов: распыливающих скрубберах, насадочных колоннах, скрубберах Вентури, в пенных абсорберах. Допустимо использование рециркуляции орошающей жидкости до накопления в ней 1 % плавиковой кислоты.

Для очистки от фтористых соединений газов, образующихся в электролизерах при производстве алюминия, целесообразно использовать скрубберы с плавающей насадкой из полых пластмассовых шаров (псевдоожиженная насадка). Достоинством насадки данного вида является возможность ее применения для очистки газов с повышенным содержанием твердых частиц, поскольку накопления их на поверхности насадки не происходит.

Абсорбция растворами соды и аммиака. В целях рекуперации фтора в форме соединения, пригодного для возврата в технологический цикл алюминиевого производства, в качестве орошающей жидкости при абсорбции применяют раствор соды. Отработанный раствор соды дополнительно нейтрализуют раствором плавиковой кислоты, затем добавляют сульфат алюминия и осаждают криолит Na_3AlF_6.

2.4.7.2 Очистка от хлора и его соединений

Образование промышленных отходящих газов и вентиляционных выбросов, содержащих хлор, хлористый водород и хлорорганические производные, характерно для

многих видов производств: промышленного получения хлора и щелочей методом электролиза поваренной соли, получения металлического магния методом электролиза хлорида, переработки руд титана, ниобия, тантала и некоторых других цветных металлов методом хлорирующего обжига, получения синтетической соляной кислоты и большой гаммы неорганических и органических хлорпроизводных. В последнее время источниками выделения HCl стали печи сжигания хлорсодержащих промышленных отходов и бытового мусора с отходами полимерных материалов.

«Сухие» способы очистки отходящих газов от хлора, основанные на использовании сухих поглотителей или адсорбентов, не получили сколько-нибудь широкого применения, поскольку они применимы только к сухим незапыленным газам. В промышленности используются процессы, основанные на абсорбции хлора и хлорсодержащих соединений различными поглотительными растворами: водой, водными растворами щелочных реагентов, водорастворимых органических отходов, а также, в некоторых специальных случаях, органическими растворителями.

Наиболее широко применяется абсорбция хлора щелочными поглотителями. Из щелочных поглотителей наиболее дешевым является известь, поэтому известковый способ очистки хлорсодержащих газов является наиболее распространенным.

Поглощение хлора осуществляют водорастворимыми органическими поглотителями, среди которых такие сравнительно дешевые вещества, как лигнин, бумажная пульпа, сульфитный щелок. Хорошо поглощает хлор лигносульфонат кальция (сульфитно-спиртовая барда) в сухом состоянии, а особенно в водном растворе. Достоинствами способа очистки газов от хлора с помощью лигносульфоната являются дешевизна и доступность реагента (затраты на 60 % — 70 % ниже, чем при использовании известкового молока), возможность переработки продуктов газоочистки в катионообменную смолу КХЛ-2, нечувствительность сорбента к другим примесям газов. Недостатками способа являются повышенная коррозионная агрессивность поглотительного раствора, сравнительно сложная технология переработки продуктов газоочистки в катионообменную смолу.

Очистка газов от хлористого водорода

Промышленные способы очистки отходящих газов от хлористого водорода основаны главным образом на хорошей растворимости его в воде и на хемосорбции его щелочными растворами, а также некоторыми природными соединениями (известняк, доломит). В связи с тем что хлористый водород существенно проще и легче извлекается из газов, чем хлор, в ряде случаев хлорсодержащие газы вводят в факел горящих

топок, например продувают через топки вращающихся печей обезвоживания карналлита.

Абсорбция хлористого водорода водой. Очистку отходящих газов от хлористого водорода в промышленной практике осуществляют в аппаратах различных типов: в насадочных скрубберах с кольцами Рашига, в распыливающих скрубберах, в аппаратах пенного типа, в скрубберах типа Вентури и др. Выбор аппарата проводят исходя из объема газов, подлежащих очистке, их температуры, содержания в газе сопутствующих компонентов, направления дальнейшего использования получаемых сорбатов. Особенностью скрубберов с насадкой из колец Рашига при очистке отходящих газов от хлористого водорода является интенсивное образование тумана капельно-жидкой соляной кислоты. Улавливание тумана, при прочих равных условиях, протекает менее интенсивно, чем улавливание газообразного хлористого водорода. Этим объясняется неполное извлечение хлористого водорода (88 %), несмотря на высокую плотность орошения. Стоки при этом получаются очень разбавленные (0,25 % — 0,4 %), что вызывает затруднение при их утилизации.

Очистка от хлористого водорода щелочными реагентами. Применение водных растворов щелочных реагентов (NaOH, Na_2CO_3, CaO) позволяет повышать степень извлечения хлористого водорода и одновременно нейтрализовать получающийся сток. Однако по ряду причин (высокая стоимость очистки газов в сравнении с водной очисткой; образование щелоков, содержащих NaCl и CaCl, которые не представляют собой большой ценности, и др.) щелочные реагенты находят ограниченное применение для извлечения хлористого водорода.

В некоторых частных случаях щелочная абсорбция хлористого водорода из отходящих газов может вписываться в комплекс мероприятий по очистке газов и стоков.

2.4.7.3 Очистка от брома и его соединений

Источниками выделения брома и его соединений в атмосферный воздух являются йодобромные производства (извлечение брома из морской воды или из вод, подстилающих нефтяные месторождения), а также производства бромпроизводных продуктов.

Извлечение брома из отходящих газов основано на различных способах хемосорбции: раствором бромистого железа, растворами бромидов щелочных или щелочноземельных металлов, растворами щелочных компонентов — едкими щелочами, содой, поташом. Способ очистки газов выбирают в зависимости от принятого способа переработки природных бромсодержащих вод, от содержания бромидов в этих водах и от

целевого продукта. Отходящие газы любого вида производства бромсодержащих продуктов чаще всего очищают с помощью железных стружек.

Очистка газов от других соединений брома. Основой очистки газов от HBr является высокая растворимость этого вещества в воде. Поэтому применяют абсорбционную очистку газов водой или разбавленными растворами бромистоводородной кислоты в абсорберах различных типов. Продукт абсорбции — разбавленную бромистоводородную кислоту — направляют в хлоратор на смешение с бромсодержащим рассолом для переработки в бром.

2.4.7.4 Очистка от йода и его соединений

Для поглощения йода из газов можно использовать влажный активный уголь КАД, поглотительная способность которого при температурах до 45 °С (в зависимости от концентрации йода в очищаемых газах) может достигать 120 г йода на 1 л адсорбента. Насыщенный поглотитель регенерируют путем десорбции из него йода. Более дорогим приемом улавливания йода из газов является использование ионообменных материалов, например, анионита АВ-17.

В производстве алюминия в газах, поступающих из ванн электролиза, содержится в среднем 0,1–1,0 г/нм^3 фтористого водорода и 0,01–0,2 г/нм^3 фторидов.

2.4.8 Очистка от паров ртути

Загрязнение атмосферы ртутью происходит при выбросе газов предприятиями цветной металлургии, теплоэнергетики, химической и других отраслей промышленности. В отходящих газах ртуть и ее соединения могут находиться в виде паров и аэрозолей, а также в составе некоторых пылей (в адсорбированной или растворенной форме). Концентрация ртути в выбросах изменяется в широких пределах.

Существенные различия в составе и объемах ртутьсодержащих отходящих газов определяют значительное число предложенных для их очистки методов, которые условно разделяют на физические (конденсационные, абсорбционные, адсорбционные, улавливания аэрозолей) и химические (хемосорбционные, газофазные).

Для предварительной очистки газов с высоким содержанием ртути обычно применяют физические методы с последующей глубокой очисткой индивидуальными и комбинированными химическими методами. Хемосорбционные жидкостные методы применяют при необходимости удаления из концентрированных газов сложного состава наряду с ртутью некоторых других компонентов, особенно таких, очистка от которых сухими методами затруднена или невозможна, и обычно ограничивают небольшими

объемами обрабатываемых газовых потоков. При необходимости глубокой демеркуризации значительных объемов отходящих газов наиболее часто используют адсорбционные методы. Однако промышленные адсорбенты, за исключением активных углей, весьма редко используют для демеркуризации отходящих газов.

Обработка сухих ртутьсодержащих газовых потоков с помощью немодифицированных активных углей нередко осложняется присутствием в этих потоках диоксида серы (330), который дезактивирует адсорбент, резко снижая его поглотительную способность в отношении ртути. Однако при наличии в очищаемых газах кислорода и паров воды в адсорбенте интенсивно идет процесс окисления сорбируемого диоксида серы (330).

Используемые для демеркуризации отходящих газов активные угли часто предварительно модифицируют путем их обработки различными сульфатирующими, галоидирующими, сульфидирующими и другими реагентами: серной кислотой, хлоридами железа и ртути, серой, сульфидами металлов и т. п.

Наряду с активными углями в качестве носителей для хемосорбентов-импрегнатов могут быть использованы и другие адсорбенты (силикагели, цеолиты, глинозем) и вещества с высокоразвитой поверхностью (пемза, оксид магния, кремнезем и др.), а также различные волокнистые материалы.

При очистке значительных объемов ртутьсодержащих газовых выбросов на ряде производств используют дробленую (размер зерен 4–15 мм) марганцевую руду (пиролюзит).

Помимо перечисленных твердофазных методов, для очистки отходящих газов от паров ртути могут быть применены некоторые ионообменные методы, в частности с использованием зернистых или волокнистых материалов: катионита в Hg^{2+}-форме или анионообменной смолы, содержащей соединения йода и адсорбированный йод.

Раздел 3. Определение наилучших доступных технологий

Определение подходов, методов, мер и мероприятий в качестве наилучшей доступной технологии для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях осуществлялось в соответствии со ст. 28.1, п. 6 Федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ, «Методическими рекомендациями по определению технологии в качестве наилучшей доступной», утвержденными Приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665, для областей применения

НДТ, установленных распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р «Перечень областей применения наилучших доступных технологий» (далее — области применения НДТ), положений ГОСТ Р 54097—2010 «Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Методология идентификации» (см. рисунок 7), а также европейского справочника НДТ «Комплексное воздействие НДТ на окружающую среду и экономическая эффективность».

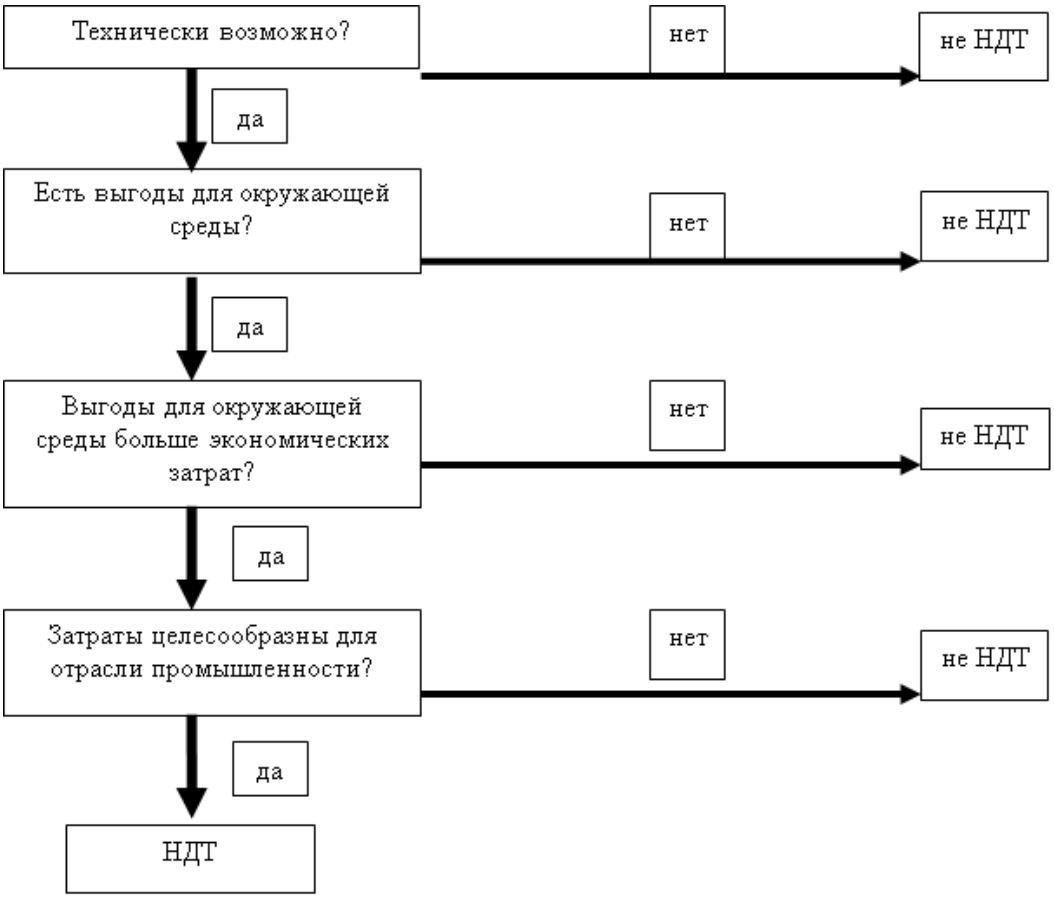

Рисунок 7 — Логический подход для принятия решения по НДТ

3.1 Критерии отнесения технологических процессов, оборудования, технических способов, методов к НДТ

Отнесение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов к НДТ осуществлялось с учетом совокупности следующих критериев:

а) промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на двух и более промышленных объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду;

б) наименьший уровень негативного воздействия технологических процессов, оборудования, технических способов, методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации;

в) экономическая эффективность внедрения и эксплуатации технологических процессов, оборудования, технических способов, методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух;

г) период внедрения технологических процессов, оборудования, технических способов, методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух.

Критерии, указанные выше, рассматривались в следующем порядке.

3.1.1 Критерий «Промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на двух и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду»

На этапе сбора и обработки данных был проведен анализ общих сведений об области применения НДТ с целью получения следующей информации:

- примерное количество объектов, относящихся к области применения настоящего справочника НДТ;
- территориальное распределение объектов с учетом климатических условий;
- распределение объектов по производственной мощности;
- главные стадии производства (оказания услуг);
- основные экологические проблемы, связанные с очисткой выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, на объектах, относящихся к области применения настоящего справочника НДТ.

Из анализа были исключены факторы, одинаковые для всех рассматриваемых технологий (энергопотребление и пр.), в той части, в которой эти параметры были одинаковы для всех рассматриваемых вариантов.

В качестве источников информации об областях применения НДТ, о применяемых на практике технологиях, относящихся к НДТ, были использованы европейские справочники НДТ, перечисленные в библиографии, а также сведения, полученные в

результате анкетирования предприятий, статистические сборники, результаты научно-исследовательских и диссертационных работ, иные источники, а также информация, полученная в ходе консультаций с экспертами в соответствующей области.

Выбор технологий, технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, относящихся к области применения НДТ и внедренных на двух и более объектах (предприятиях) в Российской Федерации, был проведен в соответствии с алгоритмом (см. рисунок 8).

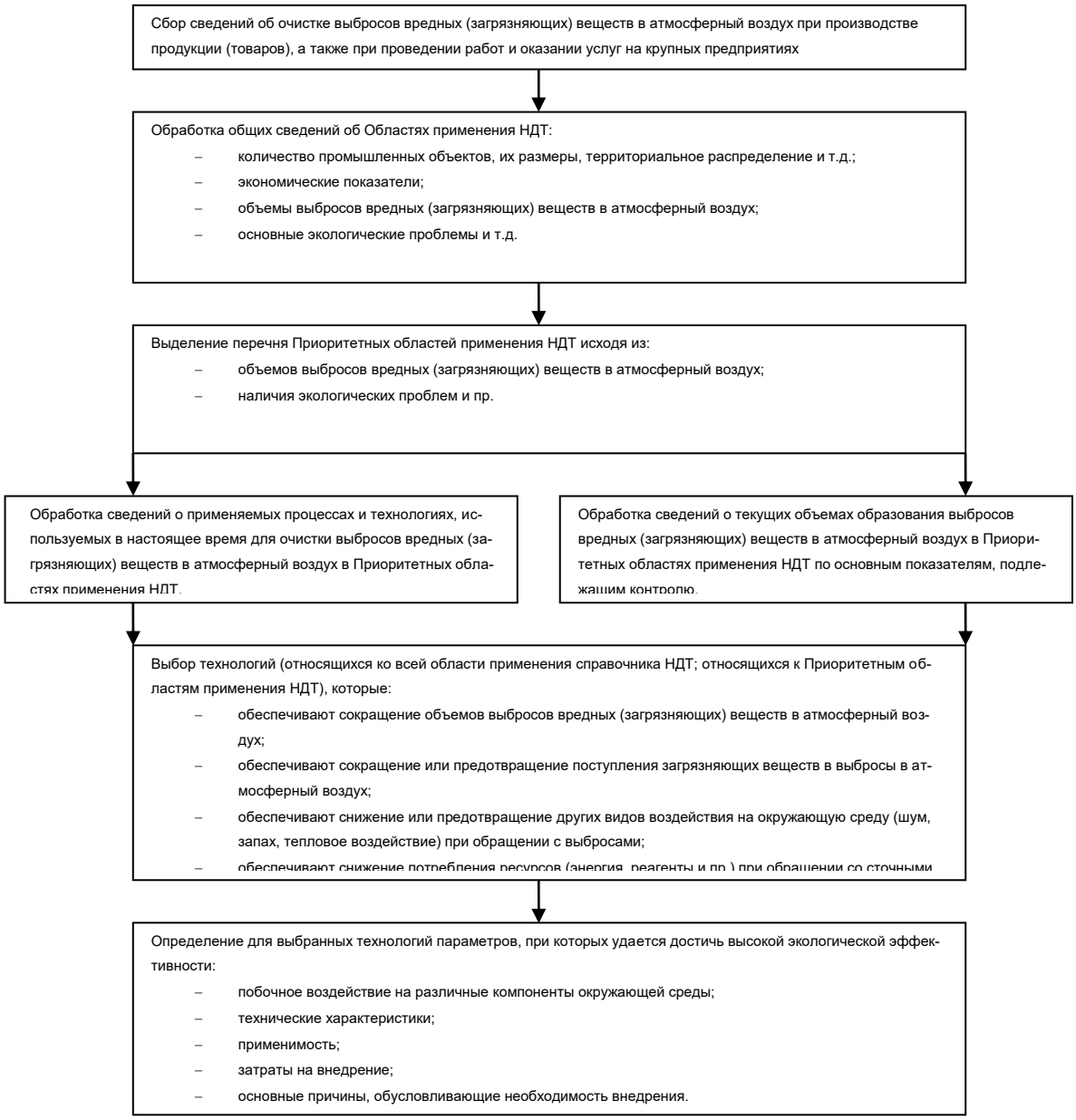

Рисунок 8 — Алгоритм выбора технологий, относящихся к области применения НДТ и применяемых на двух и более объектах (предприятиях) в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду

При этом были выделены области применения НДТ, приоритетные для целей настоящего справочника НДТ (далее — приоритетные области применения НДТ), исходя из объемов образования выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух; наличия экологических проблем и пр.

Исходя из данного алгоритма информация для выбора используемых технологий, технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, относящихся к области применения НДТ и внедренных на двух и более объектах (предприятиях) в Российской Федерации, была обработана следующим образом:

а) технологические процессы, оборудование, технические способы, методы, приемы и средства были сгруппированы по направлениям, на которых их применяют;

б) были учтены ограничения по применимости каких-либо технологий, связанные с отраслевыми, территориальными (региональными) условиями, в том числе климатическими;

в) технологии в зависимости от условий, в которых их применяют, были сгруппированы при наличии существенных различий в применяемых технологиях в зависимости от отраслевых, территориальных (региональных), в том числе климатических, условий;

г) была проведена обработка информации об образовании выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, их воздействии на окружающую среду и потреблении ресурсов в процессах обращения с ними.

По результатам предварительной обработки информации были выделены объекты (предприятия), по которым ТРГ 22 имеет достаточное для проведения оценки количество информации об применяемых технологиях очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух.

На основании обработки информации были сформированы следующие разделы настоящего справочника НДТ:

- раздел 1. Общая информация об очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях;

- раздел 2. Описание технологических процессов, используемых в настоящее время для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях в приоритетных областях применения НДТ.

В случае если промышленное внедрение технологии не было выявлено, несмотря на декларируемые разработчиками доступность по критерию, экономическую эф-

фективность и преимущества для окружающей среды при внедрении технологии, технология подлежала включению в перечень перспективных технологий, которые в настоящее время не получили достаточного распространения: это технологии, в отношении которых проводят научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы или осуществляют их опытно-промышленное внедрение.

3.1.2 Критерий «Наименьший уровень негативного воздействия технологических процессов, оборудования, технических способов, методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации»

С целью выявления использования в технологических процессах веществ, в наименьшей степени опасных для человека и окружающей среды, либо веществ, распространение которых ограничено международными соглашениями, была проведена оценка мер, направленных на предотвращение или, где это не представлялось возможным, сокращение выбросов в атмосферу, сбросов сточных вод в водные объекты и в почву, возникающих в результате очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух.

В случаях применимости для технологического процесса ряда решений было выбрано решение, сопровождающееся наименьшим отрицательным воздействием на окружающую среду.

При определении технологии в качестве НДТ была проведена оценка опасности вовлекаемых в технологические процессы (используемых) и образующихся в них веществ для атмосферы.

Информация по веществам, загрязняющим атмосферу, была получена из следующих источников: из комплексных природоохранных программ, отчетов территориальных органов Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, а также других организаций, обеспечивающих контроль за выбросом вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, и уполномоченных на обеспечение соответствующей деятельности Правительством Российской Федерации.

Дополнительными источниками информации являлись базы данных, находящиеся в открытом доступе в сети Интернет; внутренние базы данных компаний; базы дан-

ных федеральных органов исполнительной власти, ответственных за реализацию мер по охране здоровья человека и окружающей среды.

Характер и масштаб негативного воздействия на окружающую среду, возможность снижения удельных значений эмиссий, связанных с очисткой выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на предприятиях, относящихся к области применения настоящего справочника НДТ, оценивались на основании следующих показателей сбросов загрязняющих веществ:

- источники выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух;

- перечень загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах в атмосферный воздух;

- объем и (или) масса загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах в атмосферный воздух до их очистки в расчете на единицу продукции в натуральном или денежном выражении;

- наличие газоочистных сооружений;

- метод газоочистки, повторного использования;

- объем и (или) масса загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах в атмосферный воздух после их очистки в расчете на единицу продукции в натуральном или денежном выражении.

Возможное (вероятное) изменение (снижение) рисков негативного воздействия выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух после внедрения данной технологии считалось критерием отнесения технологии к НДТ.

По результатам оценки были сформированы следующие разделы настоящего справочника НДТ:

- раздел 4. Наилучшие доступные технологии, относящиеся ко всей области применения настоящего справочника НДТ;

- раздел 5. Наилучшие доступные технологии, относящиеся к приоритетным областям применения НДТ.

Опыт формирования указанных разделов показал, что вследствие влияния ряда факторов (прежде всего неравномерности технологической обеспеченности различных отраслей промышленности) технологические подходы к очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях значительно различаются. Обобщение используемых подходов технологического характера показало, что во избежание навязывания отраслям в качестве НДТ технологий, не характеризующихся стажем использования в данной отрасли, в разделе 4 имело

смысл рассматривать НДТ, не связанные с особенностями используемых технологических решений — НДТ организационно-управленческого характера, НДТ в области энергосбережения и ресурсосбережения, НДТ производственного экологического контроля и др. Таким образом, НДТ технологического характера были рассмотрены только в разделе 5. При этом подразумевалось, что подобные НДТ технологического характера могут использоваться и в смежных описываемых областях применения. В тех случаях, когда это уместно, такие смежные области применения были перечислены в начале соответствующих подразделов раздела 5.

3.1.3 Критерий «Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации технологических процессов, оборудования, технических способов, методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух»

При рассмотрении технологий с целью выявлении НДТ оценка технологий по критерию экономической эффективности производится с целью исключения из рассмотрения технологий, характеризующихся заведомо неприемлемыми инвестиционными и эксплуатационными затратами. Сопоставление различных НДТ по критерию экономической эффективности не производится, кроме специально оговоренных случаев, и остается в сфере компетенции предприятий.

Был проведен анализ эффективности затрат, используемый для определения того, какие мероприятия являются наиболее предпочтительными для достижения определенной экологической цели при самой низкой стоимости.

Экономическая эффективность технологии определялась методом экспертных оценок, где это было возможно с учетом ограничений степени конкретизации, накладываемых межотраслевым («горизонтальным») характером настоящего справочника НДТ.

Было проведено ранжирование вариантов НДТ по мере возрастания экономической эффективности, в частности для исключения вариантов, необоснованно дорогих по сравнению с полученной экологической выгодой.

Критерий «Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации и период внедрения» определялся с использованием основных принципов оценки экономической эффективности внедрения и эксплуатации технологии (см. рисунок 9).

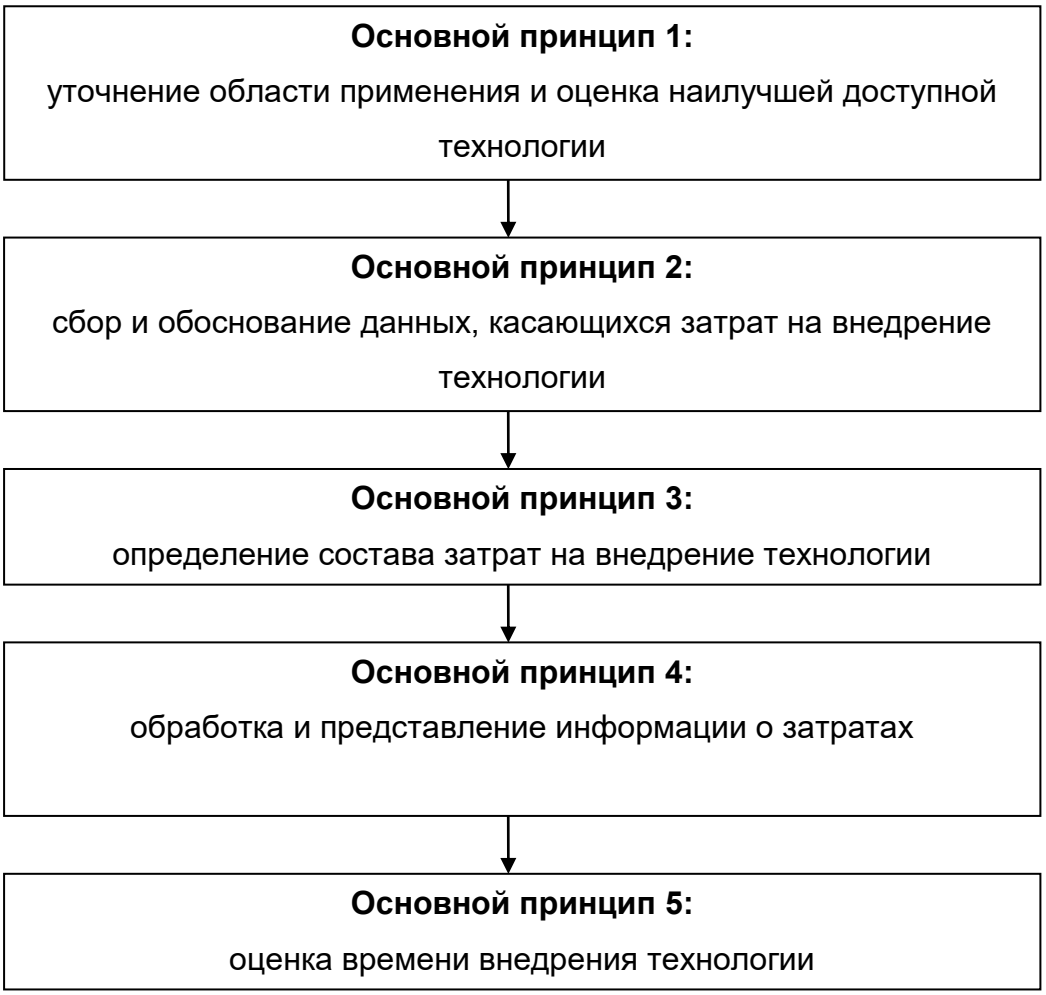

Рисунок 9 — Основные принципы оценки
экономической целесообразности внедрения НДТ

При уточнении области применения и оценке НДТ были использованы подходы, изложенные выше, кроме того, на основании имеющихся сведений члены ТРГ 22 рассмотрели следующую информацию:

- опыт предыдущего успешного использования в промышленном масштабе сопоставимых технологий: процессов, установок, методов управления;

- информацию об авариях, связанных с внедрением и эксплуатацией данной технологии на производстве;

- климатические факторы внедрения технологий;

- технологические ограничения.

3.1.4 Критерий «Период внедрения технологических процессов, оборудования, технических способов, методов очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух»

При рассмотрении технологий с целью выявления НДТ их оценка по критерию сроков внедрения производится с целью исключения из рассмотрения технологий, характеризующихся заведомо неприемлемыми сроками внедрения (более одного календарного года). Сопоставление различных НДТ по критерию сроков внедрения не производится, кроме специально оговоренных случаев, и остается в сфере компетенции предприятий.

Члены ТРГ 22 провели оценку сроков внедрения НДТ, поскольку именно сроки внедрения могут быть критичными для промышленности. При этом были раздельно рассмотрены сроки внедрения НДТ следующих временных масштабов:

- краткосрочный (от нескольких недель до месяцев);
- среднесрочный (от нескольких месяцев до года);
- долгосрочный (от одного года).

В процессе оценки объекты (предприятия) были разделены на новые и действующие.

Технология определялась в качестве НДТ при достижении соглашения между всеми членами ТРГ 22 по данному вопросу.

При наличии особого мнения по определению технологии в качестве НДТ, не поддерживаемого всеми членами ТРГ 22, такая технология определялась в качестве НДТ и включалась в настоящий справочник НДТ со специальными указаниями на особое мнение при соблюдении следующих условий:

а) в основе особого мнения лежат данные, которыми располагают ТРГ 22 и федеральный орган исполнительной власти, ответственный за разработку информационно-технических справочников НДТ, на момент подготовки выводов относительно НДТ;

б) заинтересованными членами ТРГ 22 представлены обоснованные доводы для включения технологии в перечень НДТ. Доводы являются обоснованными, если они подтверждены техническими и экономическими данными, данными о воздействии на различные компоненты окружающей среды, данными экспертного сообщества и соответствием рассматриваемой технологии понятию «наилучшая доступная технология» и критериям определения НДТ в соответствии с Федеральным законом от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

3.2 Внедрение наилучшей доступной технологии

Внедрение НДТ хозяйствующими субъектами в конкретной отрасли промышленности, как правило, ориентировано на обеспечение комплексного подхода по предотвращению и (или) минимизации техногенного воздействия и базируется на сопоставлении эффективности мероприятий по защите окружающей среды с затратами, которые должен при этом нести хозяйствующий субъект для предотвращения и (или) минимизации оказываемого им техногенного воздействия в обычных условиях хозяйствования, т. е. до внедрения НДТ.

При внедрении НДТ на объекте хозяйственной деятельности необходимо учитывать затраты на все технологические переделы и потребности в необходимом аппаратурном оснащении производства с учетом затрат хозяйствующих субъектов, ожидаемой экономической целесообразности внедрения НДТ (см. рисунок 10) и воздействия на окружающую среду.

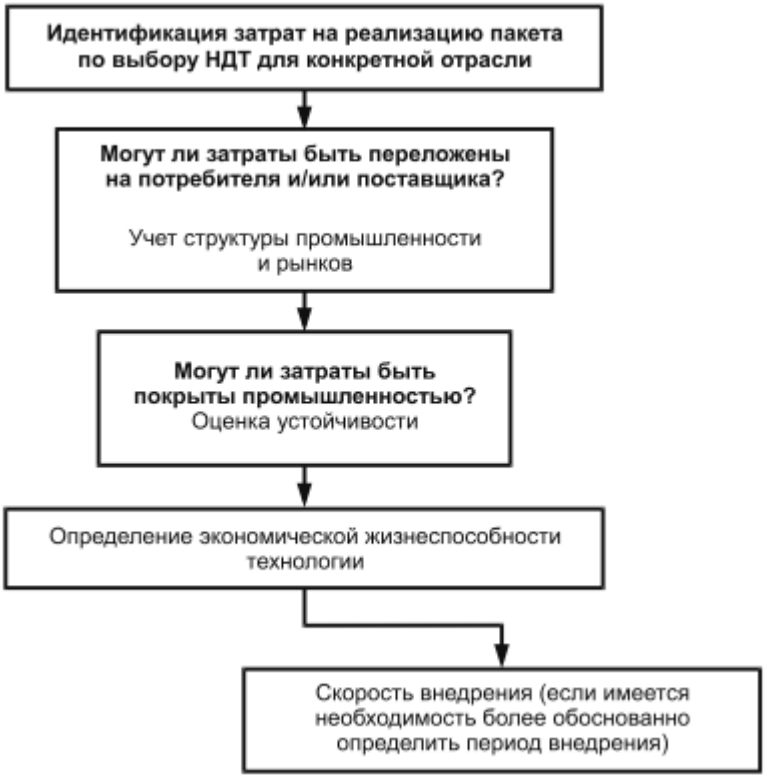

Рисунок 10 — Обобщенный алгоритм аспектов оценки ожидаемой экономической целесообразности применения НДТ в отрасли промышленности

Раздел 4. Наилучшие доступные технологии, относящиеся ко всей области применения настоящего справочника НДТ

В настоящем справочнике НДТ даны предварительные рекомендации об этапе жизненного цикла предприятия, на котором возможно внедрение каждой из приведенных НДТ. При этом под «новыми предприятиями» подразумеваются предприятия, находящиеся в стадии проектирования и, в некоторых специально неоговоренных случаях, в стадии строительства и пуско-наладки; под «действующими предприятиями» — эксплуатируемые предприятия; под «модернизируемыми предприятиями» — действующие предприятия, на которых реализуется программа масштабной модернизации с заменой оборудования и совершенствованием технологических процессов или планируется реализация такой программы.

Подразумевается, что все технологии, которые могут быть применены на действующих объектах, также могут быть использованы на модернизируемых и новых, и все технологии, которые могут быть применены на модернизируемых объектах, также могут быть применены и на новых.

При этом, кроме специально оговоренных случаев, подразумевалось, что на новых предприятиях могут быть внедрены все указанные НДТ, поэтому возможность их внедрения на новых предприятиях особо не указывалась. Поскольку на момент формирования настоящего справочника НДТ достоверная информация по внедрению нижеприведенных НДТ практически отсутствовала (не более 4 % рассмотренных анкет, поступивших от предприятий), выводы о возможности внедрения НДТ на действующем и (или) модернизируемом предприятии делались на основе экспертных оценок специалистов соответствующих отраслей.

1 НДТ организационно-управленческого характера

НДТ 1-1. Внедрение и постоянная поддержка принципов экологического менеджмента

Данная НДТ включает, в зависимости от конкретных условий, следующие подходы:

а) определение экологических приоритетов предприятия его высшим руководством (приверженность высшего руководства принципам экологического менеджмента рассматривается как необходимое условие для успешного применения остальных принципов экологического менеджмента);

б) разработка и утверждение плана действий;

в) осуществление плана действий на основе: ответственности и компетентности персонала, включая высшее руководство, системности действий; обучения, информированности и участия персонала в реализации мероприятий, связанных с внедрением принципов экологического менеджмента; документирования действий; эффективного управления процессом; наличия и реализации программы технического обслуживания; наличия плана мероприятий в случае аварийных и чрезвычайных ситуаций;

г) анализ достигнутых результатов на основе производственного экологического контроля, внутреннего и (или) независимого внешнего аудита и проведение корректирующих мероприятий с ведением соответствующего учета.

В состав вспомогательных мероприятий, которые являются желательным, но необязательным условием НДТ 1, входят:

а) наличие системы управления и процедур аудита, проверенных и утвержденных аккредитованным органом сертификации или внешним верификатором принципов экологического менеджмента;

б) регулярная подготовка и издание (возможно, при внешней проверке) экологической декларации с описанием всех существенных экологических аспектов деятельности предприятия, что позволяет сопоставлять решение экологических задач и достижение экологических целей, как с предшествующими годами, так и достижениями других предприятий отрасли;

в) внедрение и соблюдение требований добровольных стандартов и систем, признанных на международном уровне, например ISO 14001, EMAS;

г) учет воздействия на окружающую среду на этапе вывода предприятия из эксплуатации;

д) проведение на регулярной основе (по мере возможности) сравнения, не приводящего к разглашению информации, составляющей коммерческую тайну, экологических показателей предприятия с показателями других предприятий отрасли, в том числе в части энергоэффективности, энергосбережения и ресурсосбережения.

Подходы а) — д) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 1-2. Повышение квалификации персонала

Данная НДТ включает наличие у предприятия программы повышения квалификации персонала (стажировок, переподготовки, аттестаций и т. п.), задействованного в

технологических процессах очистки вредных (загрязняющих) выбросов веществ в атмосферу.

Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 1-3. Снижение вероятности чрезвычайных ситуаций

Данная НДТ предусматривает, в зависимости от конкретных условий, следующие подходы:

а) установление договорных отношений между двумя, более юридическими и (или) физическими лицами, эксплуатирующими отдельные производственные объекты, находящиеся на территории одной промышленной площадки, с целью развития сотрудничества по вопросам охраны окружающей среды и безопасности, организации труда и здоровья персонала;

б) принятие планов действий при возникновении чрезвычайных ситуаций и на уровне предприятия, а также на всех производственных объектах или промышленных площадках предприятия в целях выявления и устранения неисправностей и обеспечения надлежащего устранения воздействий на атмосферный воздух.

Подходы а) — б) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 1-4. Совершенствование систем очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ

Данная НДТ включает следующие подходы:

а) включение непосредственно в технологический процесс оборудования и установок очистки выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, образующихся в технологическом процессе (например, в окрасочных производствах и др.), в качестве конструктивного узла основного технологического оборудования в целях снижения потребления энергии и сырья, включая воду, а также сокращения капитальных и эксплуатационных расходов на реализацию организационных и технических мероприятий;

б) автоматизация технологических процессов очистки выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;

в) применение надежных и герметичных аппаратов в целях предотвращения неорганизованных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Подход а) подлежит применению на новых объектах.

Подход б) подлежит применению на модернизируемых и новых объектах.

Подход в) подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

2 НДТ в области энергосбережения и ресурсосбережения

НДТ 2-1. Внедрение и постоянная поддержка принципов энергосбережения и ресурсосбережения при обращении с образующимися выбросами вредных (загрязняющих) веществ

Данная НДТ реализуется при оптимизации и модернизации технологических процессов посредством следования положениям национальных стандартов серий «Ресурсосбережение» и «Энергосбережение», приведенных в приложении А.

Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 2-2. Сокращение энергопотребления при обращении с образующимися выбросами вредных (загрязняющих) веществ

Данная НДТ включает, в зависимости от конкретных условий, следующие подходы:

а) рекуперация и сохранение тепла экзотермической реакции посредством выработки пара низкого давления и выработки энергии посредством осуществления термодинамических циклов;

б) применение устройств плавного пуска и частотно-регулируемого привода двигателей насосных и воздуходувных агрегатов.

Подходы а) — б) подлежат применению на модернизируемых и новых объектах.

НДТ 2-3. Сокращение энергопотребления при очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ

Данная НДТ включает принятие программы организации управления энергопотреблением на предприятии, ключевыми позициями которой являются:

а) формирование системы, позволяющей отслеживать энергопотребление и затраты;

б) проведение технологического и энергетического аудита предприятий;

в) модернизация и ремонт оборудования, систем и элементов управления для повышения энергоэффективности;

г) проведение обучения лиц, занятых основами организации энергопотребления.

Подходы а) — г) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 2-4. Сокращение образования выбросов вредных (загрязняющих) веществ

Данная НДТ включает, в зависимости от конкретных условий, следующие подходы и их сочетание:

а) повторное использование в технологическом процессе вспомогательных веществ и материалов (например, инертных газов, растворителей, катализаторов, сорбентов и др.);

б) обработку (части) отходящих газов на месте их образования с целью улучшения их качества, повышающего возможность их рециркуляции и повторного использования по месту эксплуатации;

в) использование более чистых или даже отличающихся видов сырья и материалов;

г) использование более чистых или иных экологичных видов топлива.

Подходы а), б) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

Подходы в), г) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 2-5. Максимально возможное извлечение из отходящих газов загрязняющих веществ и их последующее использование

Данная НДТ включает, в зависимости от конкретных условий, следующие подходы:

а) максимальное извлечение из отходящих газов содержащихся в них веществ, представляющих собой потери сырья или продукции, попутные продукты сжигания топлива и продукты газоочистки;

б) подготовка к утилизации с достижением максимальных потребительских свойств веществ, выделенных из отходящих газов в процессе очистки.

Подходы а) — б) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 2-6. Использование систем автоматического управления расходом реагентов для очистки выбросов загрязняющих (вредных) веществ

Данная НДТ заключается в использовании систем автоматического управления расходом реагентов для очистки выбросов загрязняющих (вредных) веществ, обеспечивающих их дозирование в количествах, минимально достаточных для осуществления технологических процессов с учетом нагрева сред и уровня pH.

Данная НДТ предусматривает использование, в зависимости от конкретных условий, автоматизированного комплекса непрерывного действия, состоящего из отдельных функциональных узлов, объединенных единой системой управления и пробоподготовки.

Подход подлежит применению на модернизируемых и новых объектах.

НДТ 2-7. Использование комплексного подхода при обращении с отходящими газами

Данная НДТ заключается в применении комплексного подхода при обращении с отходящими газами, включающего в себя подходы, являющиеся частью технологических процессов, и подходы, направленные на обработку отходящих газов. Комплексный подход к обращению с отходящими газами и к их обработке основывается на инвентаризации и корректировке стационарных источников и выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, при этом первоочередное внимание уделяется подходам, интегрированным в технологические процессы и оборудование.

Подход подлежит применению на модернизируемых и новых объектах.

НДТ 2-8. Сбор отходящих газов

Данная НДТ заключается в изоляции источников выбросов и в обработке выбросов в тех случаях, когда это возможно, в целях облегчения использования удаляемых соединений в качестве вторичных ресурсов и сокращения выбросов в атмосферу.

Подход подлежит применению на модернизируемых и новых объектах. Применимость может быть ограничена аспектами, связанными с удобством использования (доступом к оборудованию), безопасностью (предотвращением образования концентраций, слишком близких к нижнему пределу взрываемости) и санитарно-гигиеническими требованиями (в тех случаях, когда требуется доступ лиц, занимающихся обращением с эмиссиями, в изолированный источник выбросов).

3 НДТ производственного экологического контроля

НДТ 3-1. Аппаратный учет количества выбросов маркерных веществ

Данная НДТ заключается в использовании автоматических средств измерения и учета объема или массы выбросов маркерных веществ, сбросов маркерных веществ и концентрации маркерных веществ, фиксации (архивировании) и передачи информации об объеме или о массе выбросов маркерных веществ, сбросов маркерных веществ и о концентрации маркерных веществ.

Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 3-2. Разработка и внедрение на предприятии программы и методик измерений

Данная НДТ включает разработку и внедрение на предприятии программ и методик измерений, используемых в производственном экологическом контроле в соответствии с положениями справочника НДТ ИТС 22.1-2016 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения».

Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 3-3. Разработка и внедрение на предприятии программы обнаружения и устранения утечек в оборудовании

В настоящее время для выявления утечек летучих и диффузных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу предусматриваются «идентификация с помощью обонятельных функций» и «визуализация газовых потоков».

Данная НДТ предусматривает применение методов визуализации газовых потоков, при которых формирование изображений производится с помощью беспроводных, портативных систем и одиночных мини-камер для организации мониторинга, позволяющих визуализировать утечки газа в режиме реального времени.

Для обнаружения утечек и их локализации необходимо применять пассивные и активные автоматизированные системы, работающие в режиме реального времени в инфракрасном диапазоне.

Реализация программ обнаружения и устранения утечек обычно основывается на оценке рисков, т. е. объекты, оснащенные оборудованием с высокими требованиями

к надежности, требуют реализации менее строгих программ обнаружения и устранения утечек.

Метод идентификации с помощью обонятельных функций: первым шагом является определение с помощью портативных анализаторов концентраций летучих органических соединений в зонах, прилегающих к оборудованию (например, с помощью ионизации пламени или фотоионизации); вторым шагом является оформление результатов.

Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 3-4. Контроль диффузных выбросов летучих органических соединений

Данная НДТ предусматривает полный предварительный контроль и количественную оценку диффузных выбросов и может осуществляться с использованием взаимодополняющих методов, например, SOF (Solar Occultation Flux) или LIDAR (Light Detection And Ranging) для определения селективного поглощения атмосферы (DIAL). Эти результаты могут быть использованы для оценки тенденций соблюдения сроков выполнения, перекрестного контроля и актуализации/проверки соответствия реализуемой программе обнаружения и устранения утечек. Метод SOF основан на протоколировании и спектрометрии с преобразованием Фурье широкополосного спектра инфракрасного и ультрафиолетового/видимого солнечного света вдоль данного географического маршрута с пересечением направления ветра и прорезанием через шлейфы летучих органических соединений. Метод LIDAR представляет собой лазерную технологию, предусматривающую использование для определения селективного поглощения атмосферы лидара, который является оптическим аналогом радара, использующего радиоволны (лидарное зондирование). Этот метод основывается на обратном рассеянии импульсов лазерного луча атмосферными аэрозолями и спектрометрическом анализе отраженного сигнала, принятого с помощью телескопа.

Подход подлежит применению на модернизируемых и новых объектах.

4 НДТ предотвращения негативного воздействия обработки отходящих газов на окружающую среду

НДТ 4-1. Использование факельного сжигания только по соображениям безопасности или при нештатных условиях эксплуатации

Данная НДТ заключается в использовании факельного сжигания только по соображениям безопасности или при нештатных условиях эксплуатации (например, при вводе в эксплуатацию, при остановах) с помощью одного или обоих подходов, приведенных ниже:

а) надлежащее проектирование объекта. Данный подход включает в себя обеспечение системы газоулавливания достаточной мощности и использование предохранительных клапанов с высокими требованиями к надежности, оснащение датчиками уровня, а также применение защитных блокировок, световой и звуковой сигнализаций;

б) управление объектом. Данный подход применим в большинстве случаев и включает в себя оптимизацию (усреднение) системы подачи топливного газа и использование измерительных приборов, автоматики, систем и оборудования для контроля и регулирования параметров технологических процессов.

Подход а) подлежит применению на новых объектах. Системы газоулавливания могут быть установлены на действующих объектах.

Подход б) подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 4-2. Снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду при факельном сжигании

Данная НДТ заключается в применении одного или обоих подходов, приведенных ниже, для предотвращения выбросов в атмосферу при факельном сжигании в тех случаях, когда его невозможно избежать:

а) надлежащее проектирование устройств факельного сжигания. Проектирование устройств факельного сжигания включает в себя оптимизацию высоты, давления, использования пара, воздуха или газа, типа факельного наконечника (или закрытого, или экранированного) и т. д., что направлено на обеспечение бездымной и надежной работы, стабилизации пламени, а также на эффективное сжигание избыточного количества газов. Применимость на существующих объектах может ограничиваться,

например, вследствие ограниченного времени обслуживания в рамках рабочего цикла объекта;

б) контроль и протоколирование как часть управления устройством факельного сжигания. Данный подход включает в себя постоянный контроль газа, направляемого на сжигание, измерение расхода газа и оценку других параметров (например, состава потока газа, его теплотворной способности, скорости потока, скорости потока продувочного газа, выбросов загрязняющих веществ (например, оксидов азота (301, 304), оксида углерода (337), углеводородов, шума). Протоколирование (архивирование) данных процесса факельного сжигания обычно включает в себя измеренный/оценочный состав газа в факеле, измеренное/оценочное количество газа в факеле и продолжительность операции факельного сжигания. Протоколирование позволяет количественно оценить выбросы и возможности предотвращения последующего применения факельного сжигания.

Подходы а) — б) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 4-3. Предотвращение или, где это неосуществимо, сокращение диффузных выбросов в атмосферу летучих органических соединений

Данная НДТ заключается в применении сочетания подходов, приведенных ниже.

Подходы, относящиеся к проектированию объекта:

а) ограничение количества потенциальных источников выбросов;

б) выбор оборудования с высокими требованиями к надежности;

в) облегчение технического обслуживания путем обеспечения доступа к оборудованию, подверженному утечкам.

Подходы а) — в) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах. Степень применимости указанных технологических подходов может быть ограничена для существующих предприятий вследствие эксплуатационных требований.

Подходы, относящиеся к строительству, к монтажу и к вводу в эксплуатацию объекта/оборудования:

г) обеспечение четкой и комплексной процедуры строительства и монтажа объекта/оборудования. Данный подход предусматривает обеспечение герметичности фланцевых соединений и включает в себя использование предусмотренного давления на прокладки во фланцевых соединениях;

д) обеспечение надежных процедур ввода в эксплуатацию и приема/передачи объекта/оборудования в соответствии с требованиями проекта.

Подходы г) — д) подлежат применению на модернизируемых и новых объектах.

Подходы, относящиеся к эксплуатации объекта:

е) обеспечение надлежащего технического обслуживания и, при необходимости, своевременная замена оборудования/деталей;

ж) использование программы обнаружения и устранения утечек, предусматривающей идентификацию опасностей и оценку рисков, выявления и, при необходимости, последующего ремонта или замены технологических элементов, из которых происходят утечки;

з) насколько целесообразно, предотвращение диффузных выбросов летучих органических соединений, сбор их у источника образования и последующая обработка.

Подходы е) — з) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 4-4. Использование элементов оборудования с высокими требованиями к надежности

Данная НДТ включает использование следующих элементов оборудования с высокими требованиями к надежности:

- клапаны с двойными сальниками;
- насосы/компрессоры/мешалки с магнитным приводом;
- насосы/компрессоры/мешалки с торцовыми уплотнениями вместо прокладок (сальников);
- высокопрочные прокладки (например, со спиральной навивкой, с муфтовыми соединениями) в критически важных местах;
- коррозионно-стойкое оборудование.

Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 4-5. Обеспечение предусмотренного давления на прокладки во фланцевых соединениях

Данная НДТ включает:

- использование сертифицированных прокладок высокого качества, соответствующих, например, требованиям ГОСТ 12815—80;

- расчет максимально возможного усилия затяжки, например, в соответствии с требованиями ГОСТ 28919—91;

- использование качественного фланцевого оборудования;

- надзор квалифицированного монтажника над затяжкой болтов.

Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

5 НДТ предотвращения и сокращения образования запахов

НДТ 5-1. Разработка, внедрение и регулярная актуализация плана учета и контроля запахов и борьбы с ними как части системы экологического менеджмента

Данная НДТ заключаются в разработке, внедрении и регулярной актуализации плана учета и контроля запахов и борьбы с ними как части системы экологического менеджмента (см. НДТ 1-1), которая включает в себя все из следующих элементов:

- регламент, содержащий соответствующие мероприятия и сроки их выполнения;

- регламент проведения контроля запахов;

- регламент реагирования на выявленные случая образования запахов;

- программу предупреждения образования запахов и избавления от них, предназначенную для выявления источника (источников) образования запахов, оценки (измерения при наличии подтвержденных методов измерений) образовавшихся запахов, оценки (измерения при наличии подтвержденных методов измерений) продолжительности воздействий запахов, характеристики участия различных источников в образовании запахов и для проведения мероприятий по удалению и (или) сокращению запахов;

- анализ имевших место ранее ситуаций, связанных с образованием запахов, и примененных к их ликвидации подходов, а также распространение информации о таких ситуациях;

- установление ориентировочного уровня воздействия запаха для конкретной жилой территории: установление такой концентрации запаха в атмосферном воздухе, которая, с одной стороны, не оказывает сильного раздражающего влияния на здоровье населения, с другой стороны, может быть достигнута за счет проведения на предприятии мероприятий по снижению выбросов пахучих веществ. Такую концентрацию следует рассматривать как норматив запаха.

Подход подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах. Применимость ограничивается случаями, когда неприятный запах ожидается или его наличие было доказано.

НДТ 5-2. Сокращение образования запахов при сборе и обработке сточных вод и осадков сточных вод

Данная НДТ заключается в применении одного из подходов или сочетания подходов, перечисленных ниже:

а) сокращение до минимально возможных показателей времени пребывания сточных вод и осадков сточных вод в системах сбора и хранения, в частности, в анаэробных условиях;

б) использование химических веществ для уничтожения или сокращения образования пахучих веществ (например, окисление или осаждение сероводорода (333));

в) оптимизация аэробного разложения (может включать контроль содержания кислорода; надлежащее (частое) обслуживание системы аэрации; использование чистого кислорода; удаление накипи в цистернах);

г) покрытие или ограждение объектов сбора и обработки сточных вод и осадков сточных вод с целью сбора пахучих отходящих газов для дальнейшей обработки;

д) обработка выбросов/сбросов за пределами основного производства («на конце трубы») (может включать биохимическую обработку; окисление при повышенной температуре).

Подходы а) — д) подлежат применению на модернизируемых и новых объектах. Степень применимости подхода а) может быть ограничена для существующих систем сбора и хранения. Подход б) (биологическая обработка) применяется только для соединений, которые легко растворимы в воде и легко подвергаются биологическому разложению

6 НДТ предотвращения или сокращения шумового воздействия

Данная НДТ заключается в применении одного из подходов или сочетания подходов, приведенных ниже.

НДТ 6-1. Разработка и внедрение плана учета и контроля шумообразования и борьбы с ним как части системы экологического менеджмента

Данная НДТ заключается в разработке и внедрении плана учета и контроля шумообразования и борьбы с ним как части системы экологического менеджмента, который включает в себя все из следующих элементов:

- регламент, содержащий соответствующие мероприятия и сроки их выполнения;
- регламент проведения контроля шумообразования;
- регламент реагирования на выявленные случаи шумообразования;
- программу предупреждения шумообразования, предназначенную для выявления и устранения источника шумообразования, измерения/оценки продолжительности шумовых воздействий, характеристики участия различных источников шумообразования и проведения мероприятий по прекращению и (или) сокращению шумообразования;
- анализ имевших место ранее ситуаций, связанных с шумообразованием, и примененных к их ликвидации подходов, а также распространение информации о таких ситуациях.

Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах. Применимость ограничивается случаями, когда имеются основания ожидать беспокоящего шумообразования или его наличие было доказано.

НДТ 6-2. Надлежащее размещение оборудования и зданий

Данная НДТ заключается в уменьшении уровня шума при проектировании путем увеличения расстояния между источником шума и объектом шумового воздействия, а также установки звукоизолирующего ограждения в виде стен, перегородок, кожухов. На существующих объектах перемещение оборудования может быть ограничено отсутствием пространства или чрезмерными расходами.

Подход подлежит применению на модернизируемых и новых объектах.

НДТ 6-3. Надлежащее осуществление эксплуатационных мероприятий

Данная НДТ заключается в проведении следующих мероприятий:

- тщательная проверка и техническое обслуживание оборудования;
- закрытие дверей и окон в закрытых помещениях, если это возможно;
- эксплуатация оборудования обученным персоналом, оснащенным средствами индивидуальной защиты;

- предотвращение проведения шумных работ в ночное время, если это возможно;

- обеспечение контроля шумообразования при проведении технического обслуживания.

Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

НДТ 6-4. Использование малошумного оборудования

Данная НДТ включает использование компрессоров, насосов и установок факельного сжигания с пониженным уровнем шума.

Подход подлежит применению на модернизируемых и новых объектах.

НДТ 6-5. Сокращение и предотвращение шумообразования при использовании оборудования

Данная НДТ включает применение следующих подходов:

- использование шумоподавителей;
- звукоизоляция оборудования;
- изоляция (покрытие) шумного оборудования;
- звукоизоляция зданий.

Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах. Применимость может быть ограничена из-за требований к пространству (на существующих предприятиях), а также вследствие требований безопасности и охраны труда.

НДТ 6-6. Использование мероприятий по предотвращению распространения шума (шумопоглощение)

Данная НДТ включает размещение препятствий (стен, насыпей, зданий и пр.) между источниками шума и объектами шумового воздействия.

Данная НДТ предусматривает:

- звукоизоляцию шумного оборудования (посредством поставки технологических комплексов в контейнерном исполнении или монтирование их в отдельном цехе производственных помещений);

- использование звукопоглощающих конструкций. Контейнерное исполнение технологических комплексов предполагает: обшивку оцинкованным перфорированным

профлистом для снижения уровня шума; наличие комплекта шумоподавляющих решеток и коробов лабиринтного исполнения; полную антикоррозионную защиту;

- экранирование источников шума (агрегатов и установок) посредством установки шумозащитных кожухов для предотвращения риска формирования закритических уровней шума, посредством установки глушителей на системах вентиляции. Корпуса (шумозащитные кожухи), отличающиеся исключительно прочной конструкцией, способной выдерживать воздействие внешней среды, устанавливают на встроенном основании (раме).

Подход подлежит применению на действующих и модернизируемых объектах. На существующих объектах размещение препятствий может быть ограничено отсутствием пространства. Надлежащее проектирование новых предприятий делает данный подход ненужным.

Раздел 5. Наилучшие доступные технологии, направленные на очистку выбросов в атмосферный воздух от основных вредных (загрязняющих) веществ в приоритетных областях применения НДТ

Применение нижеперечисленных НДТ позволяет решать наиболее актуальные экологические проблемы предприятий приоритетных областей применения НДТ и выполнять требования, предъявляемые к выбросам вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, образующимся при нормальном режиме работы этих предприятий. В ряде случаев к НДТ отнесены также подходы, применяемые к выбросам вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, образующимся в аварийном режиме.

Настоящий раздел сформирован с учетом того, что настоящий справочник НДТ имеет методический характер, содержит обобщенную информацию об общих подходах к межотраслевым технологиям и (или) техническим и управленческим решениям по очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и не должен содержать конкретные технологические показатели или перечни маркерных веществ для различных отраслей промышленности.

В настоящем разделе приводится описание наилучших доступных технологий, позволяющих оптимизировать процессы очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от основных загрязняющих веществ, подходы к которым указаны в 2.4.

В настоящем разделе осуществлена группировка НДТ приоритетных отраслей применения не по отраслевому признаку, а по наличию конкретных загрязняющих веществ в выбросах вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух.

Таким образом, общий алгоритм выбора НДТ обращения с выбросами вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на конкретном предприятии выглядит следующим образом:

- выбор НДТ из раздела 4 с учетом указанных ограничений применения НДТ;

- анализ образующихся выбросов вредных (загрязняющих) веществ предприятия;

- выбор НДТ из раздела 5 с учетом области применения и указанных ограничений применения НДТ.

НДТ В-1. Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух твердых частиц (пыли), взвешенных веществ

НДТ является сокращение поступления в выбросы твердых частиц (пыли), взвешенных веществ с помощью любого из нижеперечисленных методов или их сочетания с учетом условий применимости:

а) осуществление первичных мероприятий с учетом условий применимости: использование топлива с более низкой зольностью; применение предварительной очистки топлива (угля); оптимизация процесса горения топлива; использование замкнутых или закрытых систем для транспортирования твердого топлива и сыпучих грузов; применение технологий пылеподавления, включая технические решения с использованием насыщенного пара;

б) применение камер гравитационного осаждения для удаления крупных частиц (>20 мкм) на этапе предварительной очистки дымовых газов;

в) применение циклонов на этапе предварительной очистки дымовых газов для удаления абразивных частиц, позволяющее увеличить срок эксплуатации другого газоочистного оборудования;

г) применение электрофильтров для удаления крупных частиц размером >1 мкм;

д) применение тканевых фильтров для удаления мелких и ультрамелких частиц;

е) применение мокрых газоочистителей для одновременного улавливания SO_x и пыли. Минимальный размер частиц, удаляемых оросительными колоннами, составляет >10 мкм, динамическими и коллизионными очистителями — >2,5 мкм, скрубберами Вентури — >0,5 мкм;

ж) применение электростатических фильтров, если тканевые фильтры не могут использоваться из-за высокой влажности сажевых аэрозолей.

Подход а) подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах при условии технологической возможности (в рамках предусмотренных проектной документацией допущений) с учетом ограничений экономического и социального характера.

Подходы б) — ж) подлежат применению на модернизируемых и новых объектах.

НДТ В-2. Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух серы и ее соединений

НДТ является сокращение поступления в выбросы серы и ее соединений с помощью любого из нижеперечисленных методов или их сочетания с учетом условий применимости:

а) использование топлива с пониженным содержанием серы;

б) применение предварительной десульфуризации топлива: технологического газа (высокосернистого нефтяного газа, коксового газа, биогаза и т. д.); жидкого топлива (легких и средних нефтяных фракций, тяжелых фракций);

в) оптимизация процессов горения топлива (оптимизация температуры сжигания, в отдельных случаях — использование топливных присадок и сорбентов);

г) оптимизация процессов сжигания топлива: сжигание топлива в псевдоожиженном слое; применение комплексных газовых установок с комбинированным циклом (газификация угля и комбинированный цикл выработки электроэнергии в газовой и паровой турбине); газовых турбин с комбинированным циклом;

д) использование мокрого скруббера (степень очистки — 92 % — 99 %);

е) использование распылительной сушилки-скруббера (степень очистки — 85 % — 92 %) с впрыскиванием сухого сорбента (известняка).

В настоящее время на промышленных установках десульфуризации доминируют жидкофазные процессы. В большей степени это объясняется тем фактом, что в дымовых газах содержится большое количество взвешенных частиц, которые при газофазных процессах засоряют и отравляют используемые адсорбенты или катализаторы.

Подходы а) — в) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах при условии технологической возможности (в рамках предусмотренных проектной документацией допущений) с учетом ограничений экономического и социального характера.

Подходы г) — е) подлежат применению на модернизируемых и новых объектах при условии технологической возможности (в рамках предусмотренных проектной документацией допущений) с учетом ограничений экономического и социального характера.

НДТ В-3. Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух азота и его соединений

НДТ является сокращение поступления в выбросы азота и его соединений с помощью любого из нижеперечисленных методов или их сочетания с учетом условий применимости:

а) уменьшение пиковой температуры посредством использования следующих основных методов: достехиометрическое горение (с использованием богатой горючей смеси, в случае с которой кислород становится сдерживающим фактором); супрастехиометрическое горение (с использованием бедной топливовоздушной смеси для рассредоточения теплоты сгорания); ввод охлажденного топливного газа с кислородным обеднением для рассредоточения теплоты сгорания; ввод охлажденного топливного газа с кислородным обеднением с добавленным топливом для рассредоточения теплоты сгорания, уменьшения температуры реакции и для того, чтобы кислород стал сдерживающим фактором; ввод воды или пара для рассредоточения теплоты сгорания и для снижения температуры реакции;

б) уменьшение времени нахождения при пиковой температуре посредством использования следующих основных методов: ввод топлива, пара, рециркуляционного дымового газа или воздуха для горения непосредственно после сгорания; уменьшение распространения зоны высокой температуры, что обеспечивает более быстрое удаление дымового газа;

в) химическое восстановление оксидов азота (301, 304) в процессе сгорания посредством использования следующих основных методов: субстехиометрическое сгорание, т. е. в обогащенной топливной смеси оставшееся топливо может действовать в качестве восстановителя; повторное сжигание дымовых газов с добавлением топлива (с добавленным топливом, действующим в качестве восстановителя); создание условий обеднения топливом и обогащения топливом в зоне сгорания;

г) снижение образования азота и его соединений в процессе сгорания посредством использования следующих основных методов: сгорание с ограниченным доступом подаваемого воздуха; применение рециркуляции дымовых газов; ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха, предусматривающее создание двух зон (одна зона с из-

бытком горючего, где происходит первоначальное сгорание, и вторая, где происходит добавление воздуха для обеспечения полного сгорания); ступенчатое сжигание топлива (аналогично ступенчатому сжиганию с вдуванием воздуха); повторное сжигание топлива (процесс аналогичен рециркуляции дымовых газов, но с добавлением топлива в дымовой газ, что снижает температуру. Если при добавлении на второй стадии сгорания для повторного сжигания топлива в качестве восстановителя используется топливо, процесс аналогичен ступенчатому сжиганию топлива); уменьшение времени предварительного нагрева воздуха; применение горелок с малым выбросом оксидов азота (301, 304), обеспечивающих смешивание топлива и воздуха/дымового газа таким образом, что при ступенчатом сжигании создаются различные зоны; нагнетание воды/пара для снижения температуры пламени и для уменьшения образования оксидов азота (301, 304) при тепловой реакции, включая с импульсным началом истечения воды/пара; сжигание в обогащенной кислородом среде, когда воздух заменяют кислородом, чтобы предотвратить образование NO_x (301, 304) при тепловой реакции; оптимизация сгорания посредством применения активного контроля процесса сгорания, например, посредством специального программного обеспечения; применение каталитического сгорания с использованием катализатора;

д) применение селективного каталитического восстановления (СКВ) после обеспыливания и очистки от кислых газов. При использовании данного способа обычно требуется подогрев дымовых газов после предыдущих стадий газоочистки (температура на выходе из газоочистки составляет 70 °С для мокрых систем и 120 °С — 180 °С для большинства рукавных фильтров). Для достижения рабочих температур для системы СКВ необходима температура 230 °С — 320 °С;

е) применение селективного некаталитического восстановления (СНКВ). Аналогично СКВ, восстановитель (обычно аммиак, мочевина или нашатырный спирт) используется для восстановления оксидов азота (301, 304), но, в отличие от СКВ, без катализатора и при более высокой температуре от 850 °С до 1100 °С. Побочные воздействия, которые необходимо учитывать, включают в себя наличие аммиака в отработанном газе, образование аммиачных солей в установках после завода, образование N_2O, где мочевина, например, используется в качестве компонента смеси восстановителей, и выброс CO. Проскок аммиака (303) при СНКВ, как правило, гораздо больше, чем при СКВ, вследствие требуемой дозировки восстановителя выше стехиометрической (при высокой температуре, требуемой для СНКВ, часть добавляемого аммиака вступает в реакцию, образуя дополнительные оксиды азота (301, 304)).

Подходы а) — е) подлежат применению на модернизируемых и новых объектах при условии технологической возможности (в рамках предусмотренных проектной документацией допущений) с учетом ограничений экономического характера.

НДТ В-4. Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух летучих органических соединений

НДТ является сокращение поступления в выбросы летучих органических соединений с помощью любого из нижеперечисленных методов или их сочетания с учетом условий применимости:

а) оптимизация условий эксплуатации и технического обслуживания оборудования в целях предотвращения утечек (надлежащие программы эксплуатации, применение систем замкнутого цикла, повышение герметичности резервуаров для хранения, соединительных узлов и клапанов и т. п.);

б) использование материалов и процессов с низким содержанием органических растворителей или их отсутствием, например, использование растворителей с малым содержанием органических компонентов или материалов и процессов без органических растворителей, таких как водные краски, обезжириватели на водной основе и т. д.;

в) применение технологий, основанных на разрушении летучих органических соединений, имеющихся в отработанных газах, в том числе: рекуперативное или регенеративное термическое окисление; рекуперативное или регенеративное каталитическое окисление; биологическая деструкция, осуществляемая в биофильтрах и биоскруббера, где во влажной среде и при низкой температуре с помощью микроорганизмов происходит разрушение биоразлагаемых летучих органических соединений;

г) применение технологий, позволяющих осуществить восстановление летучих органических соединений для повторного использования в производственном процессе после специальной обработки, которая может проводиться на месте или за пределами предприятия, в том числе: адсорбция активированным углем или цеолитовым субстратом; абсорбция в переработанных очистительных жидкостях (вода, тяжелое топливо); конденсация и низкотемпературная конденсация (в качестве хладагентов используют холодную воду, жидкий азот и охладители; конденсацию применяют в качестве метода предварительной обработки); мембранная сепарация, которая должна быть связана с другими процессами, такими как низкотемпературная конденсация и адсорбция. После мембранной сепарации поток концентрированного газа конденсируют посредством обычной технологии конденсации и используют газоочистные устройства;

д) повторное использование и (или) восстановление летучих органических соединений посредством использования таких технологий, как конденсация, адсорбция, абсорбция и мембранные процессы;

е) разрушение летучих органических соединений за счет применения технологий регулирования выбросов, например, термическое или каталитическое окисление, или биологическая обработка. При сжигании рекомендуется использовать вторичное тепло для уменьшения эксплуатационных расходов и потребления ресурсов;

ж) разрушение негалогенизированных летучих органических соединений посредством использования потоков газа с летучими органическими соединениями в качестве вторичного воздуха или топлива в существующих устройствах преобразования энергии.

Подходы а) — г) подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.

Подходы д) — ж) подлежат применению модернизируемых и новых объектах.

Раздел 6. Перспективные технологии

В соответствии с ПНСТ 21—2014 к перспективным «относят технологии, которые находятся на стадии научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ или опытно-промышленного внедрения, позволяющие повысить эффективность производства и сократить эмиссии в окружающую среду. Следует приводить сроки, в течение которых перспективные технологии могут стать коммерчески доступными». Вместе с тем, в соответствии с требованиями Федерального закона от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» критерием доступности наилучшей технологии служит «промышленное внедрение этой технологии на двух и более объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду». Таким образом, для целей справочников НДТ во избежание исключения из рассмотрения технологий, уже применяемых в промышленности в ограниченном масштабе, следует отнести и те технологии, рассмотрение которых невозможно в разделе наилучших доступных технологий вследствие недостаточно широкого применения в России.

Наряду с принципиально новыми подходами к перспективным технологиям (ПТ) в области очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, следует отнести использование новых комбинаций (интеграций) существующих и активно применяемых технологических подходов, а также исследование новых сфер применения существующих технологических подходов, которые специально

не описываются в настоящем разделе, поскольку их затруднительно выявить для всех или большинства отраслей применения настоящего справочника НДТ.

Рассматривать такие технологии в качестве НДТ в данном настоящем справочнике НДТ методологического характера недопустимо, поскольку отсутствует опыт их внедрения в значительной части областей применения настоящего справочника НДТ. В то же время рассматривать их в качестве перспективных технологий не представляется возможным, поскольку они не подпадают под формальные критерии, установленные законодательством, будучи, как правило, внедрены более чем на двух промышленных предприятиях.

Таким образом, поскольку отбор технологий при разработке настоящего справочника НДТ осуществлялся на основе анализа анкет, во избежание неопределенности, ведущей к рассмотрению в качестве перспективных уже применяемых в промышленности технологий, в настоящем разделе рассмотрены только технологии, находящиеся (по данным авторов настоящего справочника НДТ) в Российской Федерации и за рубежом на стадии научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ или опытно-промышленного внедрения, либо не внедренные в Российской Федерации.

В настоящее время в стадии НИР и НИОКР находятся следующие технологии очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях.

ПТ-1. Мультивихревой гидрофильтр МВГ

Мультивихревые гидрофильтры МВГ (аббревиатура от «МультиВихревой Гидрофильтр») предназначены для очистки загрязненного воздуха от механических примесей, пыли, аэрозолей, паров и газовых примесей в составе локальных фильтровентиляционных систем, оснащенных дополнительно вентилятором, устройствами отбора загрязненного воздуха, подводящей и отводящей вентиляционной магистралями, системой подачи и отвода орошающей жидкости.

Очистка загрязненного воздуха от примесей происходит в результате его глубокого смешивания с орошающей жидкостью (промывкой), с последующим полным отделением капельной влаги из очищенного воздуха.

Основой МВГ является диспергирующая решетка особой конструкции. Загрязненный воздух проходит сквозь диспергирующую решетку снизу вверх, а орошающая жидкость свободным истечением подается на нее сверху. В результате их смешивания формируется турбулентный дисперсный газожидкостный («кипящий») слой, обеспечи-

вающий высокоэффективную промывку воздуха за счет интенсивного смачивания пылевых частиц и/или растворения в орошающей жидкости газовых примесей.

Очищенный воздух перед выходом из МВГ проходит через сепараторы, где освобождается от остаточных мелких капель жидкости.

Диспергирующая решетка набирается из множества одинаковых элементов. Струи очищаемого газа, формируемые отверстиями каждого такого элемента, имеют наклон в разные стороны. Над решеткой такие струи образуют взаимно перекрещенную структуру. В процессе взаимного проникновения струй друг в друга, скачкообразно растут относительные скорости между газовой средой и каплями жидкости в этих струях. Также такая газодинамическая структура течения струй обеспечивает равномерное распределение жидкости над всей поверхностью и взаимное перемешивание газа и жидкости над решеткой по всему сечению корпуса МВГ без предварительного распыления орошающей жидкости форсунками. В результате образуется сильно турбулентный дисперсный газожидкостный слой (пена), отличающийся чрезвычайно большой удельной поверхностью контакта, высокой скоростью ее обновления и однородностью структуры. За счет этого значительно увеличивается эффективность тепломассообмена между очищаемым газом и орошающей жидкостью.

МВГ обеспечивают высокую эффективность очистки загрязненного воздуха при минимальных требованиях к качеству орошающей жидкости. Для таких задач, как аспирация узлов пересыпки руды и угля, газоочистка дымовых газов от золы уноса, степень очистки достигает более 99 %.

В МВГ отсутствуют форсунки и, соответственно, подача орошающей жидкости происходит без избыточного давления разорванной струей. Основной процесс перемешивания взаимно-перекрещивающихся струй газа, прошедших через отверстия диспергирующей решетки, и орошающей жидкости, происходит над решеткой, а не на ее поверхности, что позволяет уменьшить изнашиваемость материала решетки и, соответственно, увеличить ее срок службы.

ПТ-2. Технология очистки газов контактным охлаждением

Технология очистки газов контактным охлаждением газовых потоков от парообразных и твердых примесей позволяет совместить процессы очистки, тепло- и массообмена газожидкостных потоков.

Принципиальным отличием технологии, разработанной специалистами НПО «Пылеочистка», является использование в качестве охлаждающей жидкости собственного конденсата, который образуется в процессе охлаждения, что исключает ис-

пользование расходных жидкостей. Конденсат, образующийся в процессе охлаждения влажных газов, накапливается, охлаждается и вновь возвращается в процесс.

Капли жидкости в процессе своего взаимодействия с газовым потоком выступают в роли центра конденсации для улавливаемых парообразных примесей, что способствует ускорению процесса очистки. При взаимодействии жидкого конденсата с очищаемым газовым потоком твердые примеси осаждаются на поверхности жидкости за счет сил инерции частиц и турбулентной диффузии и отдельно являются центрами конденсации для улавливаемых паров. К тому же в процессе взаимодействия поверхность исходной жидкости после захвата твердых частиц за счет конденсириующихся паров хорошо обновляется, что способствует интенсификации процесса очистки. При очистке газов от твердых частиц, жидкость, с уловленными твердыми примесями при отделении от газового потока, также сепарируется и от них.

Примерами применения перспективной технологии очистки газов могут быть следующие области:

- системы очистки отходящих, технологических газов, воздушных выбросов от различных аэрозолей и парообразных примесей.

- системы очистки, осушка и охлаждение воздуха, совместно с системами поддержания климата в бытовых и производственных помещениях (климатические системы, системы рециркуляции вентвыбросов и др.);

- подготовка технологического воздуха (цеха покраски, печати и др.);

- очистка и подготовка углеводородных газов (осушка попутного нефтяного газа и др.);

- очистка инертных газов от парообразных примесей (установки улова легких фракций нефти, установки рекуперации паров бензина (2704), выделение инертного газа в ректификационных установках);

- системы рекуперации тепла отходящих газов промышленных выбросов (ТЭЦ, котельные).

ПТ-3. Компактный гибридный коллектор твердых частиц

Компактный гибридный коллектор твердых частиц известен при реализации технологий COHPAC™ и TOXECON™, разработанных в США, представляющих собой технические решения для регулирования выбросов нескольких загрязняющих веществ (ртути (183), диоксинов (3620) и др.). При использовании COHPAC™ тканевый фильтр устанавливают после существующего электрофильтра. TOXECON™ предусматривает

ввод сухого сорбента (активированного угля) между электрофильтром и тканевым фильтром.

В Российской Федерации технологии COHPAC™ и TOXECON™ не применяются.

ПТ-4. Агломерация частиц

Известные технологии агломерации (для объединения небольших частиц в более крупные, которые затем могут легче или эффективнее удаляться) включают введение химикатов в потоки воздуха для усиления агломерации мелких частиц, использование фильтров с ламинарным течением для стимулирования поверхностной агломерации мелких частиц, акустическое возбуждение пылевых частиц, взвешенных в газе, для увеличения скоростей столкновения и, следовательно, скоростей агломерации, возбуждение заряженных пылевых частиц, взвешенных в газе, электрическим полем, создаваемым постоянным или переменным током, для усиления перемешивания и, следовательно, агломерации и создание у частиц, содержащихся в потоке газа, зарядов противоположной полярности для электростатического притяжения.

Наиболее широко распространенной технологией агломерации является поверхностная агломерация. При использовании технологий поверхностной агломерации для удаления из потока газа частицы должны приводиться в контакт с собирающей поверхностью или телом. Крупные частицы диаметром более 10 мкм относительно легко улавливаются при помощи инерционных механизмов, таких как соударение, удержание и центробежные силы.

Агломератор Indigo («Индиго Текнолоджиз Груп Пти Лтд») образует крупные агломерированные частицы за счет присоединения мелких частиц к более крупным (патент РФ № 2262386).

Устройство для агломерации частиц в потоке газа содержит генератор ионов, предназначенный для создания у частиц в потоке газа электрических зарядов противоположной полярности, и конструкцию, размещенную по направлению потока ниже генератора ионов и предназначенную для изменения физических характеристик потока газа для перемешивания противоположно заряженных частиц, содействуя таким образом агломерации частиц. Данная технология также позволяет сократить выбросы ртути. Агломерированные частицы легко удаляют с помощью традиционных технологических подходов, например электрофильтров.

В Российской Федерации технология находится на стадии ОКР, целью которых является использование в случаях значительной концентрации сажевых аэрозолей, связанного с субмикронными частицами.

ПТ-5. Плазмокаталитическая технология воздухоочистки ПКТ

Для предприятий, на которых уровень загрязнения воздуха газообразными веществами не превышает 3000 мг/м^3, перспективным является применение плазмакаталитической установки, разработанной специалистами ООО «ГринПлэнет».

Технология основана на высокой окислительной способности продуктов высоковольтного барьерного электрического разряда — плазмы, а также последующем глубоком окислении продуктов конверсии, образовавшихся в результате прохождения воздуха через плазменный реактор первой ступени, в каталитическом реакторе второй ступени. Доочистка газо-воздушной смеси происходит за счет финишного расщепления остатков загрязняющих веществ и озона (326), синтезированного в плазменном реакторе, до CO_2, H_2O, O_2, N_2 и т. д. В установках ПКТ применяется низкотемпературный катализатор, который благодаря наличию ступени плазменного реактора эффективно работает в диапазоне температур 30 °С — 70 °С.

Параллельно с очисткой воздуха от газообразных загрязняющих веществ, происходит глубокая дезинфекция и стерилизация воздуха.

Краткий перечень вредных (загрязняющих) веществ, нейтрализуемых установкой ПКТ, приведен в таблице 12.

Таблица 12 — Краткий перечень вредных (загрязняющих) веществ, нейтрализуемых установкой ПКТ

Вещество	Степень очистки, %	ПДК, мг/м^3	Класс опасности
Оксиды: оксид азота (II) (304), диоксид азота (301), оксид углерода (337)	До 97 % — 99 %	0,04–0,06	2–4
Ароматические углеводороды: гидроксибензол (фенол) (1071), бензол (602), диметилбензол (ксилол) (смесь изомеров о-, м-, п-) (616), метилбензол (толуол) (621), этенилбензол (винилбензол; стирол) (620) и др.	До 87 % — 97 %	0,003–50	2–4
Альдегиды, кетоны их производные: пропан-2-он (ацетон) (1401), формальдегид (1325), бензальдегид (бензойный альдегид) (1302), метилацетат (1224), этилацетат (1240), ацетальдегид (уксусный альдегид) (1317) и др.	До 85 % — 96 %	0,003–200	2–4

Вещество	Степень очистки, %	ПДК, мг/м^3	Класс опасности
Монокарбоновые кислоты: метановая кислота (муравьиная кислота) (1537), этановая кислота (уксусная кислота) (1555) и др.	До 90 % — 92 %	1–5	2–3
Спирты: этанол (этиловый спирт) (1061), пропан-2-ол (изопропиловый спирт) (1051)и др.	До 92 % — 95 %	5–10	3–4
Дурнопахнущие вещества: дигидросульфид (сероводород) (333), аммиак (303), диметилсульфид (1707), смесь природных меркаптанов (в пересчете на этилмеркаптан) (одорант СПМ) (1716)	До 85 % — 98 %	0,00005–50	2–4
Прочие вещества: озон (326), антрацен (711), дибутилбензол-1,2-дикарбонат (дибутилфталат; дибутиловый эфир фталевой кислоты) (1215), проп-2-ен-1-аль (акролеин) (1301), тетрагидрофуран (2419), 2-метилпропионовая кислота (изомасляная кислота) (1528), смесь предельных углеводородов С1 — С5 (по метану) (415), смесь предельных углеводородов С6 — С10 (по гексану) (416)	До 85 % — 99 %	0,03–200	1–4

ПТ-6. Компактные электрофильтры

Компактная конструкция электрофильтра представляет собой конструкцию с уменьшенной неактивной областью (на 900–1100 мм по длине фильтра на каждое поле), посредством исключения из межпольного промежутка механизмов встряхивания и технологических проходов обслуживания валов встряхивания.

Встряхивание осуществляется с помощью магнито-импульсных молотков расположенных на крыше электрофильтра. Два электромагнитных молотка встряхивают от одного до трех осадительных электродов и 5–10 сборок коронирующих электродов.

Среди положительных аспектов использования магнито-импульсных молотков выявлены следующие:

- увеличение активного объема на 25 % в тех же габаритах;

- возможность производить замену молотка без остановки основного оборудования и электрофильтра;

- механическая часть молотка расположена в чистой зоне;

- возможность гибкого управления алгоритмами встряхивания;

- возможность регулировки силы удара; отсутствие проблемы децентровки молоток-наковальня;

- возможность автоматического отслеживания поломки молотка.

ПТ-7. Трехступенчатый пылеуловитель

Трехступенчатый пылеуловитель представляет собой комплекс пыле- и золоулавливания (КПЗУ), включающий в себя вихревую камеру, пылеконцентратор, выносные циклоны.

КПЗУ предназначен для очистки дымовых газов котлов малой энергетики, воздуха аспирационных сетей, а также во всех отраслях промышленности, связанных с транспортированием, складированием и переработкой дисперсных материалов и остальных процессов, приводящих к выделению большого количества пыли в атмосферный воздух.

Эффективность пылеулавливания приближается к эффективности скрубберов и электрофильтров.

Пылеуловитель КПЗУ позволит снизить выбросы пыли в атмосферный воздух по сравнению с батарейным циклоном в 4–6 раз.

Первая ступень пылеуловителя КПЗУ представляет собой вихревую камеру. Часть пыли из вихревой камеры с газом отводится в выносной циклон, представляющий собой вторую ступень очистки. Затем дымовые газы из вихревой камеры поступают в третью ступень очистки, представленную пылеконцентратором, также снабженным выносным циклоном. Очищенные газы поступают в общий раскручиватель дымовых газов или сразу же в дымосос. Уловленные в пылеуловителе частицы поступают в стандартный гидрозатвор или специальный пылевой затвор.

ПТ-8. Фотокаталитическое окисление с диоксидом титана

Фотокаталитическое окисление, также называемое фотокатализом, представляет собой подход, используемый для разложения путем окисления многих загрязняющих веществ (например, летучих органических соединений, соединений серы, соединений азота, запахов и бактерий), содержащихся в отходящих газах.

Технология реализует методы очистки воздушных потоков с использованием фотохимических реакций. Устройства содержат последовательно расположенные секции электростатической очистки, фотоокисления, фотокатализа и увлажнения.

Фотокатализ основан на двухэтапной реакции с катализатором (обычно используется TiO_2) и системой облучения для активации катализатора (может использоваться ультрафиолетовое излучение искусственных ламп или солнечный свет). Фотокатализ полностью минерализует загрязняющие органические вещества.

Комбинированное воздействие ультрафиолетового излучения и TiO_2 превращает часть содержащегося в воздухе водяного пара в два высокореактивных сильных окислителя: гидроксильные радикалы (ОН) и супероксидные ионы (O_2^-). Гидроксильные радикалы ОН обладают вдвое большей окислительной способностью, чем хлор, и преобразовывают органические вещества (например, летучие органические соединения, запахи) и бактерии в диоксид углерода (380).

Данный подход может использоваться при очистке/дезодорировании газообразных утечек, содержащих загрязняющие вещества в следовых количествах, а также для обработки утечек в атмосферу из зданий, где хранятся жидкие стоки или шлам. Подход особенно полезен для соединений с обонятельным порогом порядка 1 части на миллиард по объему или ниже и в тех случаях, когда концентрация достаточно низка.

Известен фотокаталитический воздухоочиститель, включающий корпус, насос-вентилятор, фотокаталитический блок, пылевой фильтр с органическим или неорганическим адсорбентом, отличающийся тем, что корпус воздухоочистителя выполнен в виде закрученной в спираль постоянной по площади поперечного сечения трубки, образующей фотокаталитический блок, внутренняя поверхность которого покрыта слоем фотокатализатора, а на стороне поверхности, расположенной ближе к центру фотокаталитического блока, на всем его протяжении прикреплена светодиодная лента с ультрафиолетовыми светодиодами (патент РФ 2497584). В указанном фотокаталитическом воздухоочистителе в качестве фотокатализатора используется диоксид титана.

До настоящего времени задача очистки газов от вредных примесей, а также веществ, обладающих неприятным запахом, в частности сероводорода (333), решалась в основном химическими абсорбционными и каталитическими способами, использующими введение в очищаемый газ различных активных веществ с целью создания процессов восстановления, окисления и др., способствующих выводу вредных веществ из газа. Например, способ каталитической очистки газа от сероводорода (333) путем его окисления в элементарную серу в присутствии гранулированного титанооксидного катализатора, содержащего добавку кремния (патент РФ 2057577), или способ очистки

газов от меркаптанов, в котором для повышения степени конверсии меркаптанов до сероводорода в качестве катализатора используют цеолит, содержащий 1,5 % — 1,86 % водорода по массе при температуре 280 °С — 300 °С и объемной скорости газового потока 800–2000 $ч^{-1}$ (патент РФ 2057577).

Однако указанные способы являются технологически сложными, сопряжены с повышенными энерго- и материалозатратами и не обеспечивают достаточно высокой степени очистки (90 % — 97 % удаляемого сероводорода). Кроме того, при применении таких способов существует проблема регенерации катализатора.

Одним из наиболее современных методов в данной области является способ очистки воздуха и газов от различных примесей с использованием фотокаталитического эффекта.

Процесс фотокатализа состоит в окислении молекул удаляемых веществ на поверхности катализатора под действием светового излучения до диоксида углерода, воды и диоксида азота (301). В современной технике в качестве наиболее активного фотокатализатора чаще всего используется диоксид титана в кристаллической модификации — анатаз, нанесенный в виде слоя на носитель. Под действием поглощаемого светового излучения на поверхности катализатора образуются активные центры, которые окисляют органические и неорганические компоненты.

Известен способ дезодорации и очистки газов, включающий подачу очищаемого газа, пропускание его через слой фотокатализатора в виде регулярного носителя, покрытого слоем на основе диоксида титана в форме анатаза, на который воздействуют световым излучением (патент РФ 2339438).

При этом слой фотокатализатора непрерывно орошают водой или паром, а процесс осуществляют в присутствии озона (326), концентрация которого составляет от 0,01 до 0,5 части удаляемых примесей (патент РФ 2339438).

Выбор материала носителя для фотокаталитического слоя и диапазон толщин слоя на основе диоксида титана определяется необходимостью обеспечения более полного контакта активирующего излучения с фотокатализатором, его прохождения вглубь реактора, протекания фотокаталитической реакции не только на поверхности, но и в глубине слоя катализатора.

Несмотря на выполненные научные работы и опытно-промышленное использование в ряде проектов, широкого практического распространения технология не получила.

ПТ-9. Использование керамических фильтров для удаления нескольких загрязняющих веществ

Суть технологического подхода состоит в обработке отходящих газов при температуре до 400 °C путем прогонки их через керамические фильтрующие элементы (т. н. свечи), содержащие катализатор. Содержание загрязняющих веществ (пыль, кислоты, оксиды азота (301, 304), тяжелые металлы и полихлоридный дибензопарадиоксин/полихлоридный дибензофуран (3620)) сокращается в одном интегрированном блоке обработки, где происходят следующие процессы:

- кислые загрязняющие вещества (например, гидрохлорид (316), диоксид серы (330), фтороводород (342)) нейтрализуются (путем введения бикарбоната натрия, извести и др.) до керамического и каталитического фильтра;

- оксиды азота (301, 304) преобразуются в N_2 и H_2O, проходя через керамический и каталитический фильтр (аммиак или мочевина вносятся в отходящие газы до фильтра);

- пыль подвергается фильтрации с использованием керамических «свечей». Импульсная подача воздуха используется для очистки «свечей» без их съема;

- полихлоридный дибензопарадиоксин/полихлоридный дибензофуран (3620) сокращается с помощью каталитической системы или они адсорбируются на фильтр;

- тяжелые металлы адсорбируются на адсорбирующий фильтр.

Для каждого конкретного случая применения подхода выполняется специальное исследование для определения типа реагента, подлежащего использованию в зависимости от температуры отходящих газов, состава загрязняющих веществ и требований к обработке.

Данный подход представляет собой альтернативу обычным сочетаниям электростатических пылеуловителей и селективного каталитического восстановления или рукавных фильтров и селективного восстановления.

Эффективность борьбы с выбросами и уровни выбросов при использовании данного подхода, рассматривается в таблице 13.

Таблица 13 — Эффективность борьбы с выбросами и уровни выбросов при использовании подхода, предусматривающего удаление нескольких загрязняющих веществ

Удаляемые загрязняющие вещества	Уровни содержания загрязняющих веществ (мг/норм. м^3) при 8 % O_2 в сухом веществе	Степень удаления (%)
Диоксид азота (оксид азота (IV)) (301), оксид азота (II) (оксид азота) (304)	< 80	98
Пыль	< 5	99,9
Диоксид серы (сернистый ангидрид) (330)	< 50	97
Гидрохлорид (хлористый водород, соляная кислота) (по молекуле HCl) (316)	< 10	97
Фтористые газообразные соединения: гидрофторид, кремний тетрафторид (в пересчете на фтор) (342)	< 5	97
Диоксины (в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин) (3620)	< 0,0001	Информация отсутствует

Преимуществами технологического подхода являются:

- компактность установки: установка в два-три раза меньше альтернативных установок (электростатический пылеуловитель + избирательное каталитическое восстановление или рукавный фильтр + избирательное каталитическое восстановление);

- высокая эффективность фильтрации: выбросы пыли составляют обычно <5 мг/норм. м^3 независимо от концентрации на входе;

- оптимизация потребления реагента: реакция через фильтр-прессную лепешку и высокая химическая активность реагента при высокой температуре;

- улучшенное удаление селена: Пробы показывают, что система позволяет достичь допустимых концентраций селена в выбросах меньшими усилиями;

- сокращение образования остатков при фильтрации: оптимизация потребления реагента приводит к сокращению образования остатков при фильтрации и, следовательно, к сокращению объема, подлежащего обработке (использованию в качестве вторичных материальных ресурсов или удалению);

- оптимизация сокращения выбросов оксидов азота (301, 304): интеграция системы катализатора позволяет обеспечить гибкость сокращения выбросов оксидов азота (301, 304) вследствие большой поверхности обработки;

- сокращение затрат на техническое обслуживание: размер оборудования уменьшается из-за степени интеграции, предполагаемой подходом, тем самым сокращая расходы на техническое обслуживание;

- повышение эффективности печи/котла на 10 %: для оборудования с системой рекуперации энергии этот подход позволяет, с одной стороны, увеличить доступность теплообменника, расположенного за пределами фильтра, путем ограничения его загрязнения (обрастания отложениями), а с другой — повысить энергоэффективность путем уменьшения температуры дыма, выпускаемого после теплообменника;

- более низкие эксплуатационные затраты: низкие затраты являются следствием вышеупомянутых факторов. В зависимости от характеристик установки экономия может достигать до 30 % по сравнению с обычными системами.

Недостатками технологического подхода являются:

- образование твердых или жидких отходов (керамические и каталитические «свечи» не могут быть использованы в качестве вторичных материальных ресурсов);

- относительно небольшой срок службы керамических и каталитических «свечей»;

- относительно высокая стоимость керамических и каталитических «свечей»;

- достаточно высокое потребление реагентов;

- достаточно высокое энергопотребление;

- шумообразование от использования вентиляторов, реагентных насосов и компрессоров, которые должны быть оснащены достаточными средствами предотвращения шумообразования;

- возможное использование дополнительных специальных мер безопасности в зависимости от реакции аммиака или мочевины с веществами, содержащимися в отходящих газах.

Показатели материалоемкости и энергоемкости при использовании технологического подхода, предусматривающего удаление нескольких загрязняющих веществ, приводятся в таблице 14.

Таблица 14 — Показатели материалоемкости и энергоемкости при использовании подхода, предусматривающего удаление нескольких загрязняющих веществ

Параметр	Потребление	Примечание
Сжатый воздух (для обработки 1000 м^3/ч отходящих газов)	0,003 норм. м^3/ч	—
Электроэнергия (кВт·ч для обработки 1000 м^3/ч отходящих газов)	1,25 кВт·ч	—
Реагент для нейтрализации кислых газов	Зависит от содержания кислых газов, температуры и используемого реагента	Известь или бикарбонат натрия
Реагент для удаления NO_x	Близко к стехиометрии	Мочевина или NH_3
Реагент для удаления тяжелых металлов	Зависит от содержания тяжелых металлов, температуры и используемого реагента	Активированный уголь или эквивалент

Для обеспечения надежной работы установки перепад давления при прохождении через керамический фильтр должен контролироваться непрерывно. Кроме того, необходимо регулярно контролировать падение давления в топке для запуска вентилятора. Расход реагента автоматически корректируется исходя из содержания загрязняющих веществ.

В Российской Федерации технология находится на стадии НИР/НИОКР. Исследования проводятся на уровне отдельных компаний, однако данными об опытно-промышленных установках, готовых к внедрению в промышленную эксплуатацию, рабочая группа не располагает.

ПТ-10. Комплексная очистка от SO_x и NO_x

В настоящее время активно развиваются системы комплексной очистки вредных выбросов от пыли и газообразных соединений типа SO_x и NO_x. Этот процесс получил название E-SO_x и включает в себя подачу и диспергирование известкового молока или содового раствора в газоходе перед электрофильтром или в не большой камере, установленной между источником вредных выбросов и электрофильтром.

Стоимость капитальных вложений на реализацию процесса E-SO_x в 3,5 раза меньше традиционных мокрых и полусухих методов серо- и азотоочистки. Эксплуата-

ционные затраты в десятки раз меньше и не зависят от концентрации загрязняющих веществ.

Специалистами фирмы EKOLTRONIK CZECH s.r.o. (Чехия) разработана собственная система E-SO_x, в основу которой положено изменение конструкции внутреннего оборудования электрофильтров под создание высокоэффективного окисления SO_2 в SO_3 и NO_2 в N_2O5. Адсорбентом, например, при очистке газообразных вредностей в энергетике использовалась пылеугольная зола.

ПТ-11. Система десульфуризации дымовых газов NID™

Технология NID (Компания Alstom) представляет собой процесс сухой десульфуризации дымовых газов, который основан на реакции между диоксидом серы (330) и гашеной известью $Ca(OH)_2$ во влажных условиях. Увлажненную смесь гашеной извести и конечного продукта в виде порошка вводят в абсорбер системы NID и охлаждают входящий дымовой газ путем испарения влаги из смеси. Охлажденный дымовой газ проходит в пылеуловитель, преимущественно в рукавный фильтр или электрофильтр, где пыль осаждается из дымового газа и рециркулируется обратно в процесс через систему NID.

Главным узлом системы NID является запатентованный смеситель/увлажнитель. Равномерное содержание влаги в золе, полученной из фильтра, возрастает на несколько процентов с помощью дополнительного увлажнителя. Смеситель равномерно распределяет воду и известь в потоке рециркулирующего продукта перед впрыскиванием в дымовой газ. Увлажненные твердые частицы пыли в смесителе продолжают оставаться в виде сыпучей пудры, без комкования, обеспечивая равномерное распределение увлажненной пудры в дымовой газ для абсорбции диоксида серы (330), смешивание извести, воды и продуктов рециркуляции происходит вне дымового газа, что обеспечивает образование однородной смеси перед впрыскиванием обратно в поток дымового газа.

Общая площадь смесителя и абсорбера системы NID на 20 % меньше, чем площадь обычного абсорбера или реактора с кипящим слоем. Это позволяет фактически осуществить весь процесс десульфации внутри пылеуловителя.

В качестве реагентов могут быть использованы известь ($Ca(OH)_2$, негашеная известь (CaO) или щелочные шлаки. В системе происходит сухое гашение CaO до $Ca(OH)_2$, который вступает в реакцию с SO_2. Поскольку материал, прошедший рециркуляцию, на 95 % и выше состоит из твердых частиц, процесс рециркуляции достигает очень высоких скоростей.

При количестве рециркуляций от 30 до 50 раз и выше обеспечивается коэффициент использования извести близкий к стехометрическому.

Типичный конечный продукт — безопасный сухой порошок, состоящий из смеси летучей золы, сульфита/сульфата кальция, гидроксида, карбоната, хлорида и т. д. Эти продукты могут найти применение в качестве легких заполнителей, компонентов герметизирующего слоя при строительстве дорог и пр.

Преимуществами системы NID являются:

- низкие капиталовложения;

- небольшой объем технического обслуживания благодаря незначительному числу компонентов;

- компактность конструкции реактора, установленного под пылеуловителем;

- возможность использования низкоактивного химического реагента;

- высокоэффективное удаление диоксида серы (330);

- смешение вне дымового газа воды, летучей золы, реагента;

- неограниченное содержание серы в угле;

- высокая эффективность для хлоридов, диоксида серы (330) и SO_3 (выше, чем в обычном процессе «мокрой» десульфуризации);

- высокая эффективность поглощения SO — от 90 % до 98 % ввиду стехиометрической реакции с известью наравне с традиционным полусухим распылительным абсорбером.

Технология внедрена на 1 предприятии в Российской Федерации.

ПТ-12. Технология десульфурации выбросных промышленных газов по СПР-методу

Новый комбинированный метод нейтрализации SO_2 включает скрубберную, печную и рукавную ступени — по этой аббревиатуре технология названа «СПР-метод».

С одной стороны, СПР-метод использует известные цинковые печные способы поглощения SO_2, с другой — способность рукавного фильтра тонко очищать от пыли сколь угодно большие расходы газов.

В общем виде технология по данному методу включает следующие стадии:

- очистка выбросных газов от пыли на рукавном фильтре;

- промывка газов в скруббере раствором окиси цинка и связывание сернистого газа с получением кристаллов сернисто-кислого цинка;

- прокалка в печи кристаллов реагента с получением сернистого газа 100%-ной концентрации;

- отделение влаги из отходящих после скруббера очищенных газов и выпуск их в атмосферу;

- отбор и обработка концентрированного диоксида серы (330) (например, сжижение или получение элементарной серы).

Технология имеет следующие преимущества:

- не требуется перевалки большого количества расходных реагентов, как в случае использования извести;

- крайне малый расход окиси цинка;

- очень высокая степень десульфурации (теоретически более 99 %);

- возможность применения в качестве технологии для очистки хвостовых газов после ступеней Клауса при получении элементарной серы;

- возможность полезной утилизации бросовой теплоты для подогрева газов и прокалки реагента;

- хорошо согласуется с современными АСУ-технологиями.

Заключительные положения и рекомендации

Для разработки настоящего справочника НДТ была сформирована техническая рабочая группа (ТРГ 22) «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях», в состав которой вошли 184 представителя организаций. Состав ТРГ 22 был утвержден приказом Росстандарта от 4 марта 2016 г. № 237.

Мониторинг активности членов ТРГ 22 выявил необходимость оптимизации состава ТРГ. Приказом Росстандарта от 18 июля 2016 г. № 1045 состав ТРГ 22 был актуализирован. В рабочей группе осталось 108 членов, которые и принимали активное участие в разработке настоящего справочника НДТ.

В целях сбора информации о применяемых на промышленных предприятиях технологических процессах, оборудовании, об источниках загрязнения окружающей среды, технологических, технических и организационных мероприятиях, направленных на снижение загрязнения окружающей среды и повышение энергоэффективности и ресурсосбережения, была подготовлена «Анкета для предприятий, содержащая формы для сбора данных, необходимых для разработки проекта справочника НДТ».

В качестве основы для формирования Анкеты был использован ПНСТ 23—2014 «Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий».

Анкета была направлена в адреса 906 крупных российских предприятий. Сведения, полученные в результате анкетирования предприятий, были использованы при разработке настоящего справочника НДТ.

Итоги анализа поступивших от предприятий анкет показали явную недостаточность информации о перспективных технологиях в области очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. Это, в частности, послужило причиной использования результатов научно-исследовательских и диссертационных работ, иных источников и информации, полученной в ходе консультаций с экспертами в соответствующей области. При этом следует учитывать, что к перспективным технологиям целесообразно отнести также передовые технологии, применяемые за рубежом, но до настоящего времени не внедренные в Российской Федерации. Следует отметить, что в настоящее время ТРГ 22 не располагает достаточной информацией о перспективных технологиях в области выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях, и работа в этом направлении должна быть продолжена.

Библиография

1. Федеральный закон от 10 января 2002 г. №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»

2. Федеральный закон от 31 декабря 2014 г. №488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации».

3. Федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ (ред. от 13 июля 2015 г.) «Об охране атмосферного воздуха».

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 сентября 2015 г. № 1029

6. «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий»

7. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р «Об утверждении Перечня областей применения наилучших доступных технологий».

8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р «Об утверждении поэтапного графика создания в 2015–2017 годах отраслевых справочников наилучших доступных технологий».

9. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 марта 2014 г. №398-р «Об утверждении комплекса мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, переход на принципы наилучших доступных технологий и внедрение современных технологий».

10. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665 «Об утверждении Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии».

11. ПНСТ 21—2014 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника.

12. ПНСТ 22—2014 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения.

13. ПНСТ 23—2014 Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий.

14. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году».

15. Охрана окружающей среды в России. 2014 : Стат. сб. / Росстат. — М., 2014. — 78 с.

16. Сборник докладов третьей Международной конференции «Пылегазоочистка — 2010» (28–29 сентября 2010 г., Москва, ГК «Измайлово») : ООО «ИНТЕХЭКО». — М., 2010. — 157 с.

17. Сборник докладов четвертой Международной конференции «Пылегазоочистка — 2011» (27–28 сентября 2011 г., Москва, ГК «Измайлово») : ООО «ИНТЕХЭКО». — М., 2011. — 128 с.

18. Сборник докладов пятой Международной конференции «Пылегазоочистка — 2012» (25–26 сентября 2012 г., Москва, ГК «Измайлово») : ООО «ИНТЕХЭКО». — М., 2012. — 133 с.

19. Сборник докладов шестой Международной конференции «Пылегазоочистка — 2013» (24–25 сентября 2013 г., Москва, ГК «Измайлово») : ООО «ИНТЕХЭКО». — М., 2013. — 138 с.

20. Сборник докладов седьмой Международной конференции «Пылегазоочистка — 2014» (23–24 сентября 2014 г., Москва, ГК «Измайлово») : ООО «ИНТЕХЭКО». — М., 2014. — 102 с.

21. Сборник восьмой Международной конференции «Пылегазоочистка — 2015» (29–30 сентября 2015 г., Москва, ГК «Измайлово») : ООО «ИНТЕХЭКО». — М., 2015. — 80 с.

22. Боравский Б. В., Скобелев Д. О., Венчикова В. Р., Боравская Т. В. Наилучшие доступные технологии. Аспекты практического применения — М. : Изд-во Коорд.-инф. центра содействия предприятиям СНГ в вопросах безопасности хим. продукции, 2013. — 218 с.

23. Костылева Н. В. Анализ методологических подходов к классификации техногенных объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду с целью определения простых, понятных, количественных, эффективных критериев / Н. В. Костылева. — Пермь : УралНИИ «Экология», 2012. — 115 с.

24. Левитов В. И., Решидов И. К., Ткаченко В. М. и др. Дымовые электрофильтры / под общ. ред. В. И. Левитова. — М. : Энергия, 1980. — 447 с.

25. Левашов С. П. системы защиты воздушной среды : Учеб. пособие. — Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2003. — 122 с.

26. Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С. Техника защиты окружающей среды : Учебник для вузов. — М. : Химия, 1989. — 512 с.

27. Скобелев Д. А., Боравский Б.В, Чечеватова О. Ю. Наилучшие доступные технологии. Учебное пособие. — М. : АСМС, 2015. — 176 с.

28. Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: Информационный сборник / В. В. Абрамов и др.; под общей ред. В. Я. Путилова. — М. : Издательский дом МЭИ, 2007. — 388 с. : ил.

29. Чекалов Л. В. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. «Научные основы создания электрогазоочистного оборудования нового поколения». — Семибратово, 2007. — 297 с.

30. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. Guidance document on control techniques for emissions of sulphur, NO_x, VOCs, dust (including PM 10, PM 2.5 and black carbon) from stationary sources. Informal document No. 2. Provisional Agenda Item 5. Draft guidance documents to the revised 1999 Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. Working Group on Strategies and Review, Fiftieth session, 10–14 September 2012, P. 268.

31. Decisions 2012/119/EU of 10 February 2012 laying down rules concerning guidance on the collection of data and on the drawing up of BAT reference documents and on their quality assurance referred to in Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions

32. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). Official Journal of the European Union. 17 декабря 2010 г. — P. 103.

33. Commission Implementing Decision (EU) 2016/902 of 30 May 2016 establishing best available techniques (BAT) conclusions, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council, for common waste water and waste gas treatment/management systems in the chemical sector (notified under document C(2016) 3127) (Text with EEA relevance).

34. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector. Final draft. July 2016. — P. 667.

35. European Commission. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass. 2013. — P. 485.

36. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. 2013. — P. 884.

37. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques on Surface Treatment using Organic Solvents. 2007. — P. 722.

38. European Commission. Reference Document on the General Principles of Monitoring. 2013. — P. 155.

39. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries. 2010. — P. 495.

40. European Commission. Reference Document on Economics and Cross-Media Effects. 2006. — P. 175.

41. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage. 2006. — P. 460.

42. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for the Tanning of Hides and Skins. 2013. — P. 295.

43. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs. 2013. — P. 854.

44. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals — Ammonia, Acids and Fertilizers. 2007. — P. 446.

45. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry. 2014. — P. 782.

46. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals — Solids and Others industry. 2007. — P. 711.

47. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry. 2005. — P. 399.

48. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries. 2015. — P. 754.

49. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries. 2006. — P. 626/

50. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics. 2006. — P. 582.

51. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry. 2001. — P. 538.

52. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Production of Polymers. 2007. — P. 314.

53. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Organic Fine Chemicals. 2006. — P. 456.

54. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques Speciality Inorganic Chemicals. 2007. — P. 348.

55. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries. 2014. — P. 1242.

56. European Commission. Best Available Techniques. Reference Document on the Production of Iron and Steel. 2013. — P. 627.

57. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry. 2007. — P. 260.

58. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. 2006. — P. 682.

59. European Commission. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. 2006. — 638.

60. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-products Industries. 2005. — P. 469.

61. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing industry. 2014. — P. 344.

62. European Commission. Best Available Techniques Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. 2015. — P. 900.

63. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry. 2003. — P. 626.

Приложение А
(справочное)

Перечень национальных стандартов серии «Ресурсосбережение»

ГОСТ 30166—95 Ресурсосбережение. Основные положения

ГОСТ 30167—95 Ресурсосбережение. Порядок установления показателей в документации на продукцию

ГОСТ 30772—2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения

ГОСТ 30775—2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов. Основные положения

ГОСТ Р 51768—2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Определение ртути в ртутьсодержащих отходах производства и потребления. Основные положения

ГОСТ Р 51769—2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Документирование и регулирование деятельности по обращению с отходами производства и потребления. Основные положения

ГОСТ Р 52104—2003 Ресурсосбережение. Термины и определения

ГОСТ Р 52105—2003 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов

ГОСТ Р 52106—2003 Ресурсосбережение. Общие положения

ГОСТ Р 52107—2003 Ресурсосбережение. Классификация и определение показателей

ГОСТ Р 52108—2003 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Основные положения

ГОСТ Р 53691—2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт отхода I–IV класса опасности. Основные требования

ГОСТ Р 53692—2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов

ГОСТ Р 53719—2009 (EN 14182:2002) Ресурсосбережение. Упаковка. Термины и определения

ГОСТ Р 53740—2009 (EN 13428:2004) Ресурсосбережение. Упаковка. Специальные требования к минимизации, составу, изготовлению упаковки

ГОСТ Р 53741—2009 (ЕН 13431:2004) Ресурсосбережение. Упаковка. Требования к отработавшей упаковке для ее переработки в качестве вторичных энергетических ресурсов

ГОСТ Р 53742—2009 (ЕН 13430:2004) Ресурсосбережение. Упаковка. Требования к отработавшей упаковке для ее переработки в качестве вторичных материальных ресурсов.

ГОСТ Р 53744—2009 (ЕН 13427:2004) Ресурсосбережение. Упаковка. Требования к применению европейских стандартов в области упаковки и упаковочных отходов.

ГОСТ Р 53754—2009 (ЕН 13440:2003) Ресурсосбережение. Упаковка. Показатели и методы расчета результативности переработки отработавшей упаковки в качестве вторичных материальных ресурсов

ГОСТ Р 53756—2009 (ЕН 13437:2003) Ресурсосбережение. Упаковка. Критерии выбора методов и процессов переработки отработавшей упаковки в качестве вторичных материальных ресурсов с учетом материальных потоков

ГОСТ Р 53759—2009 (ЕН 13429:2004) Ресурсосбережение. Упаковка. Повторное использование

ГОСТ Р 53791—2010 Ресурсосбережение. Стадии жизненного цикла изделий производственно-технического назначения. Общие положения

ГОСТ Р 54095—2010 Ресурсосбережение. Требования к экобезопасной утилизации отработавших шин

ГОСТ Р 54096—2010 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Взаимосвязь требований Федерального классификационного каталога отходов и Общероссийского классификатора продукции

ГОСТ Р 54097—2010 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Методология идентификации

ГОСТ Р 54098—2010 Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения (введен на территории Российской Федерации вместо ГОСТ 25916—83 «Ресурсы материальные вторичные. Термины и определения»)

ГОСТ Р 54193—2010 Ресурсосбережение. Производство энергии. Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности при выработке тепловой энергии

ГОСТ Р 54194—2010 Ресурсосбережение. Производство цемента. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности

ГОСТ Р 54195—2010 Ресурсосбережение. Промышленное производство. Руководство по определению показателей (индикаторов) энергоэффективности

ГОСТ Р 54196—2010 Ресурсосбережение. Промышленное производство. Руководство по идентификации аспектов энергоэффективности

ГОСТ Р 54197—2010 Ресурсосбережение. Промышленное производство. Руководство по планированию показателей (индикаторов) энергоэффективности

ГОСТ Р 54198—2010 Ресурсосбережение. Промышленное производство. Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности

ГОСТ Р 54199—2010 Ресурсосбережение. Производство энергии. Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности при выработке электрической энергии

ГОСТ Р 54200—2010 Ресурсосбережение. Производство энергии. Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности при сжигании различных видов топлив.

ГОСТ Р 54201—2010 Ресурсосбережение. Производство сортового и тарного стекла. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности

ГОСТ Р 54202—2010 Ресурсосбережение. Газообразные топлива. Наилучшие доступные технологии сжигания

ГОСТ Р 54203—2010 Ресурсосбережение. Каменные и бурые угли. Наилучшие доступные технологии предотвращения выбросов, образуемых в процессе разгрузки, хранения и транспортирования

ГОСТ Р 54204 —2010 Ресурсосбережение. Каменные и бурые угли. Наилучшие доступные технологии сжигания

ГОСТ Р 54205—2010 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности при сжигании

ГОСТ Р 54206—2010 Ресурсосбережение. Производство извести. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности

ГОСТ Р 54207—2010 Ресурсосбережение. Кожевенная промышленность. Наилучшие доступные технологии использования энергоресурсов

ГОСТ Р 54258—2010 Ресурсосбережение. Обращение с отходами и производство энергии. Стандартный метод определения качества топлива, полученного из отходов, на основе испытания объединенной выборки образцов (на основе ASTM D5 115)

ГОСТ Р 54259—2010 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Стандартное руководство по сокращению количества отходов, восстановлению ресурсов и использованию утилизированных полимерных материалов и продуктов (на основе ASTM D 7209)

ГОСТ Р 54260—2010 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Стандартное руководство по использованию топлива, полученного из отходов шин (на основе ASTM D 6700)

ГОСТ Р 54261—2010 Ресурсосбережение. Обращение с отходами и производство энергии. Стандартный метод определения высшей теплотворной способности и зольности отходов материалов (на основе ASTM D 5468)

ГОСТ Р 54262—2010 Ресурсосбережение. Обращение с отходами и производство энергии. Стандартный метод определения термических характеристик макрообразцов топлива, полученного из отходов (на основе ASTM E 955)

ГОСТ Р 54529—2011 (ЕН 13193:2000) Ресурсосбережение. Упаковка в окружающей среде. Термины и определения

ГОСТ Р 54530—2011 (ЕН 13432:2000) Ресурсосбережение. Упаковка. Требования, критерии и схема утилизации упаковки посредством компостирования и биологического разложения

ГОСТ Р 54532—2011 (ЕН 12940:2004) Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и менеджмент отходов производства обуви

ГОСТ Р 54533—2011 (ИСО 15270:2008) Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководящие принципы и методы утилизации полимерных отходов

ГОСТ Р 54534—2011 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель

ГОСТ Р 54535—2011 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при размещении и использовании на полигонах

ГОСТ Р 55086—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Базовые показатели для обеспечения экологической безопасности при ликвидации отходов

ГОСТ Р 55087—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Требования к контролю трансграничного перемещения отходов, предназначенных для операций по утилизации

ГОСТ Р 55088—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Принципы рационального обращения с отходами

ГОСТ Р 55089—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Принципы трансграничного перемещения опасных отходов

ГОСТ Р 55090—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Рекомендации по утилизации отходов бумаги

ГОСТ Р 55091—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Рекомендации по утилизации и повторному использованию упаковки для напитков

ГОСТ Р 55092—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Требования к контролю опасных отходов при их экспорте

ГОСТ Р 55093—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Требования к обмену информацией при авариях на опасных объектах, способных нанести трансграничный ущерб

ГОСТ Р 55094—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Принципы классификации и характеристики опасных отходов, подлежащих трансграничному перемещению

ГОСТ Р 55095—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Принципы в отношении сокращения трансграничного перемещения опасных отходов

ГОСТ Р 55096—2012 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Обработка отходов в целях получения вторичных материальных ресурсов

ГОСТ Р 55097—2012 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Обработка отходов в целях получения вторичных энергетических ресурсов

ГОСТ Р 55098—2012 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии обращения с отходами в известковой промышленности. Аспекты эффективного применения

ГОСТ Р 55099—2012 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии обращения с отходами в цементной промышленности. Аспекты эффективного применения

ГОСТ Р 55100—2012 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии обращения с отходами в горнодобывающей промышленности. Аспекты эффективного применения

ГОСТ Р 55101—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению и транспортированию гальванических элементов

ГОСТ Р 55102—2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутьсодержащих устройств и приборов

ГОСТ Р 55103—2012 Ресурсосбережение. Эффективное управление ресурсами. Основные положения

ГОСТ Р 53827—2013 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Руководство по экологически ориентированному управлению отходами

ГОСТ 53828—2013 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Ликвидация отработавших свинцово-кислотных батарей

ГОСТ Р 53829—2013 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Ликвидация отходов, содержащих стойкие органические загрязнители

ГОСТ Р 53830—2013 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Иерархический порядок обращения с отходами

ГОСТ Р 53831—2013 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Методы термической обработки отходов

ГОСТ Р 53832—2013 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Экологически безопасная ликвидация отработанных масел

ГОСТ Р 53833—2013 Ресурсосбережение. Требования к документированию при производстве продукции. Политика рационального использования и экономии материалов

ГОСТ Р 53834—2013 Ресурсосбережение. Требования к документированию при производстве продукции. Экологическая политика предприятия

ГОСТ Р 53835—2013 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Контроль качества отходов, поступающих на мусоросжигательные заводы

ГОСТ Р 53836—2013 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Обработка отходящих газов при сжигании отходов

ГОСТ Р 53838—2013 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Требования к безопасному хранению списанных изделий перед утилизацией

ГОСТ Р 56222—2014 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения в области материалов

ГОСТ Р 56223—2014 Ресурсосбережение. Система менеджмента материалоэффективности. Требования и руководство по применению

ГОСТ Р 56224—2014 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения, относящиеся к менеджменту

ГОСТ Р 56225—2014 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Расчет энергоэффективности мусоросжигательных заводов

ГОСТ Р 56226—2014 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Методы отбора и подготовки проб

Приложение Б
(справочное)

Перечень национальных стандартов серии «Энергосбережение»

ГОСТ Р 51379—99 Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов

ГОСТ Р 51380—99 Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям

ГОСТ Р 51387—99 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение

ГОСТ Р 51388—99 Энергосбережение. Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения

ГОСТ Р 51341—99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей

ГОСТ Р 51749—2001 Энергосбережение. Энергопотребляющее оборудование общепромышленного применения

Приложение В
(обязательное)

Энергоэффективность

В.1 Краткая характеристика сферы деятельности с точки зрения ресурсо- и энергопотребления

Справочник НДТ содержит описания применяемых в настоящее время в Российской Федерации универсальных подходов и методов, применимых при очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ на предприятиях, относящихся к областям применения НДТ, определенным распоряжением Правительства РФ от 24.12.2014 №2674-р.

Из этих подходов и методов выделены решения, признанные наилучшими доступными технологиями для приоритетных областей применения НДТ, включая, по возможности, соответствующие параметры экологической результативности, ресурсо- и энергоэффективности, а также экономические показатели.

В.2 Основные технологические процессы, связанные с использованием энергии

К основным технологическим процессам, связанным с использованием энергии, относятся технологических процессов, используемых в настоящее время для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг в приоритетных областях применения НДТ.

В.3 Уровни потребления

В связи с большим разнообразием применяемых на промышленных предприятиях технологических процессов, оборудования, а также информации об источниках загрязнения окружающей среды, технологических, технических и организационных мероприятиях, направленных на снижение загрязнения окружающей среды, уровни потреб-

ления материальных и энергетических ресурсов представлены в весьма широких пределах.

В.4 Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	Раздел 4. НДТ 2-1. Внедрение и постоянная поддержка принципов энергосбережения и ресурсосбережения при обращении с образующимися выбросами вредных (загрязняющих) веществ	Данная НДТ реализуется при оптимизации и модернизации технологических процессов посредством следования положениям национальных стандартов серий «Ресурсосбережение» и «Энергосбережение», приведенных в Приложении 1. Подход подлежит применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.
2	Раздел 4. НДТ 2-2. Сокращение энергопотребления при обращении с образующимися выбросами вредных (загрязняющих) веществ	НДТ включает, в зависимости от конкретных условий, следующие подходы: а) рекуперация и сохранение тепла экзотермической реакции посредством выработки пара низкого давления и выработки энергии посредством осуществления термодинамических циклов; б) применение устройств плавного пуска и частотно-регулируемого привода двигателей насосных и воздуходувных агрегатов. Подходы подлежат применению на модернизируемых и новых объектах.
3	Раздел 4. НДТ 2-3. Сокращение энергопотребления при очистке выбросов вредных	НДТ включает принятие программы организации управления энергопотреблением на предприятии, ключевыми позициями которой являются:

	(загрязняющих) веществ	а) формирование системы, позволяющей отслеживать энергопотребление и затраты; б) проведение технологического и энергетического аудита предприятий; в) модернизация и ремонт оборудования, систем и элементов управления для повышения энергоэффективности; г) проведение обучения лиц, занятых основами организации энергопотребления. Подходы подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.
4	Раздел 4. НДТ 2-4. Сокращение образования выбросов вредных (загрязняющих) веществ	НДТ включает, в зависимости от конкретных условий, следующие подходы и их сочетание: а) повторное использование в технологическом процессе вспомогательных веществ и материалов (например, инертных газов, растворителей, катализаторов, сорбентов и др.); б) обработку (части) отходящих газов на месте их образования с целью улучшения их качества, повышающего возможность их рециркуляции и повторного использования по месту эксплуатации; в) использование более чистых или даже отличающихся видов сырья и материалов; г) использование более чистых или иных экологичных видов топлива. Подходы подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.
5	Раздел 4. НДТ 2-5. Максимально возможное извлечение из отходящих газов загрязняющих	НДТ включает, в зависимости от конкретных условий, следующие подходы: а) максимальное извлечение из отходящих газов содержащихся в них веществ,

	веществ и их последующее использование	представляющих собой потери сырья или продукции, попутные продукты сжигания топлива и продукты газоочистки; б) подготовка к утилизации с достижением максимальных потребительских свойств веществ, выделенных из отходящих газов в процессе очистки. Подходы подлежат применению на действующих, модернизируемых и новых объектах.
6	Раздел 4. НДТ 2-6. Использование систем автоматического управления расходом реагентов для очистки выбросов загрязняющих (вредных) веществ	НДТ заключается в использовании систем автоматического управления расходом реагентов для очистки выбросов загрязняющих (вредных) веществ, обеспечивающих их дозирование в количествах, минимально достаточных для осуществления технологических процессов с учетом нагрева сред и уровня pH. НДТ предусматривает использование, в зависимости от конкретных условий, автоматизированного комплекса непрерывного действия, состоящего из отдельных функциональных узлов, объединенных единой системой управления и пробоподготовки. Подходы подлежат применению на модернизируемых и новых объектах.
7	Раздел 4. НДТ 2-7. Использование комплексного подхода при обращении с отходящими газами	НДТ заключается в использовании комплексного подхода при обращении с отходящими газами, включающего в себя подходы, являющиеся частью технологических процессов, и подходы, направленные на обработку отходящих газов. Комплексный подход к обращению с отходящими газами и к их обработке основывается на инвентаризации и корректировке стационарных источников и

		выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, при этом первоочередное внимание уделяется подходам, интегрированным в технологические процессы и оборудование. Подходы подлежат применению на модернизируемых и новых объектах.
8	Раздел 4. НДТ 2-8. Сбор отходящих газов	НДТ заключается в изоляции источников выбросов и в обработке выбросов в тех случаях, когда это возможно, в целях облегчения использования удаляемых соединений в качестве вторичных ресурсов и сокращения выбросов в атмосферу. Подходы подлежат применению на модернизируемых и новых объектах. Применимость может быть ограничена аспектами, связанными с удобством использования (доступом к оборудованию), безопасностью (предотвращением образования концентраций, слишком близких к нижнему пределу взрываемости) и санитарно-гигиеническими требованиями (в тех случаях, когда требуется доступ лиц, занимающихся обращением с эмиссиями, в изолированный источник выбросов).

В.5 Экономические аспекты реализации НДТ, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Обобщенный алгоритм аспектов оценки ожидаемой экономической целесообразности применения НДТ в отрасли промышленности рассмотрен в разделе 3 справочника НДТ.

В.6 Перспективные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

В разделе 6 приводится описание перспективных технологий, применяемых для очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и находящихся на стадии научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ, опытно-промышленного внедрения, а также зарубежных технологий, не получивших в настоящее время широкого внедрения на территории Российской Федерации, в том числе основанных на методах повышения энергоэффективности.

Приложение Г
(обязательное)

Перечень НДТ, позволяющих сократить эмиссии в окружающую среду, потребление сырья, воды, энергии и снизить образование отходов

Номер НДТ	Наименование НДТ
Наилучшие доступные технологии, относящиеся ко всей области применения настоящего справочника НДТ	
1	НДТ организационно-управленческого характера
1-1	Внедрение и постоянная поддержка принципов экологического менеджмента
1-2	Повышение квалификации персонала
1-3	Снижение вероятности чрезвычайных ситуаций
1-4	Совершенствование систем очистки выбросов вредных (загрязняющих) веществ
2	НДТ в области энергосбережения и ресурсосбережения
2-1	Внедрение и постоянная поддержка принципов энергосбережения и ресурсосбережения при обращении с образующимися выбросами вредных (загрязняющих) веществ
2-2	Сокращение энергопотребления при обращении с образующимися выбросами вредных (загрязняющих) веществ
2-3	Сокращение энергопотребления при очистке выбросов вредных (загрязняющих) веществ
2-4	Сокращение образования выбросов вредных (загрязняющих) веществ
2-5	Максимально возможное извлечение из отходящих газов загрязняющих веществ и их последующее использование
2-6	Использование систем автоматического управления расходом реагентов для очистки выбросов загрязняющих (вредных) веществ
2-7	Использование комплексного подхода при обращении с отходящими газами

Номер НДТ	Наименование НДТ
2-8	Сбор отходящих газов
3	НДТ производственного экологического контроля
3-1	Аппаратный учет количества выбросов маркерных веществ
3-2	Разработка и внедрение на предприятии программы и методик измерений
3-3	Разработка и внедрение на предприятии программы обнаружения и устранения утечек в оборудовании
3-4	Контроль диффузных выбросов летучих органических соединений
4	НДТ предотвращения негативного воздействия обработки отходящих газов на окружающую среду
4-1	Использование факельного сжигания только по соображениям безопасности или при нештатных условиях эксплуатации
4-2	Снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду при факельном сжигании
4-3	Предотвращение или, где это неосуществимо, сокращение диффузных выбросов в атмосферу летучих органических соединений
4-4	Использование элементов оборудования с высокими требованиями к надежности
4-5	Обеспечение предусмотренного давления на прокладки во фланцевых соединениях
5	НДТ предотвращения и сокращения образования запахов
5-1	Разработка, внедрение и регулярная актуализация плана учета и контроля запахов и борьбы с ними как части системы экологического менеджмента
5-2	Сокращение образования запахов при сборе и обработке сточных вод и осадков сточных вод
6	НДТ предотвращения или сокращения шумового воздействия
6-1	Разработка и внедрение плана учета и контроля шумообразования и борьбы с ним как части системы экологического менеджмента
6-2	Надлежащее размещение оборудования и зданий
6-3	Надлежащее осуществление эксплуатационных мероприятий
6-4	Использование малошумного оборудования

Номер НДТ	Наименование НДТ
6-5	Сокращение и предотвращение шумообразования при использовании оборудования
6-6	Использование мероприятий по предотвращению распространения шума (шумопоглощение)
Наилучшие доступные технологии, направленные на очистку выбросов в атмосферный воздух от основных вредных (загрязняющих) веществ в приоритетных областях применения НДТ	
В-1	Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух твердых частиц (пыли), взвешенных веществ
В-2	Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух серы и ее соединений
В-3	Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух азота и его соединений
В-4	Сокращение и предотвращение образования выбросов в атмосферный воздух летучих органических соединений

Приложение Д
(обязательное)

Основные и дополнительные виды деятельности с учетом областей применения НДТ, а также действующих в Российской Федерации кодов ОКВЭД

В настоящий справочник НДТ включены виды экономической деятельности (в соответствии с ОК 029–2014 (КДЕС Ред. 2)), включенные в разделы:

- B — добыча полезных ископаемых;

- C — обрабатывающие производства;

- D — обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха.